

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Кузьмінський Є.В.

« ____ » _____ 2019р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія»,
(код і назва)
на тему: Технологія одержання біоетанолу з бурих водоростей**

Виконав: студент _____ курсу, групи _____
(шифр групи)

_____	_____
(прізвище, ім'я, по батькові)	(підпис)

Науковий керівник _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Консультант _____	_____	_____
(назва розділу)	(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

_____	_____	_____
(назва розділу)	(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія,

Спеціалізація «екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Кузьмінський Є.В.

« ____ » _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Данилюку Михайлу Єгоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Технологія одержання біоетанолу з бурих водоростей,
науковий керівник дисертації

к.т.н., асистент кафедри екобіотехнології та біоенергетики Левтун І.І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Терміни подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження технологія отримання біоетанолу

4. Предмет дослідження бурі водорості, як джерело поживних речовин
для продукування біоетанолу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

- 1) Провести аналіз літературних джерел щодо методів та умов культивування бурих водоростей виду *Laminaria japonica*, впливу різних факторів на продуктивність культивування та хімічний склад біомаси
- 2) Обґрунтувати вибір технологічної схеми виробництва біоетанолу з бурих водоростей
- 3) Здійснити технологічні розрахунки та підібрати обладнання для виробництва біоетанолу
- 4) Розрахувати матеріальний баланс процесу

- 5) Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з бурих водоростей
- 6) Розробити схему автоматизації стадії зброджування
- 7) Розрахувати економічну доцільність проекту
- 8) Надати основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема – А1, Технологічна схема – А1, Ферментер для зброджування поживного середовища, складальне креслення – А1, Схема автоматизації стадії зброджування – А1, Техніко-економічні показники підприємства – А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5. Економічна частина			
6. Охорона праці			

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел		
2.	Вибір технологічної схеми виробництва		
3.	Технологічні розрахунки та підбір загальнозаводського обладнання		
4.	Розрахунок матеріального балансу		
5.	Розрахунок та креслення ферментера		
6.	Розробка системи автоматизації стадії зброджування		
7.	Розрахунок економічної ефективності		
8.	Визначення основних вимог з охорони праці та навколишнього середовища		

Студент

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 115 сторінок, 17 таблиць, 14 рисунків, 50 посилань.

Об'єктом розробки є технологія одержання біоетанолу з бурих водоростей.

Мета: визначення необхідних параметрів для максимальної ефективності виробництва біоетанолу з бурих водоростей.

Розроблено проект технології виробництва біоетанолу з бурих водоростей з метою отримання екологічного палива, яке буде відповідати вимогам євростандартів та допоможе задовільнити потребу країни у біоетанолі. Технологічна схема базується на зброджуванні гідролізату бурих водоростей роду *Laminaria Japonica* за використанням дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, з подальшим виділенням біоетанолу з бражки. Новизною проекту є технологічна стадія попередньої обробки сировини з використанням хімічного та ферментативного гідролізів для покращення показників екологічності та виходу спирту.

Матеріали даної магістерської дисертації можна використовувати при проектуванні підприємств для виробництва біоетанолу, які в якості сировини будуть використовувати будь які види бурих водоростей.

Актуальність проекту полягає в вирішенні енергетичної та екологічної проблематики пов'язаних з нестачею якісного та екологічного пального відповідаючого всім європейським стандартам якості.

БІОЕТАНОЛ, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, ГІДРОЛІЗНА ТЕХНОЛОГІЯ, ГІДРОЛІЗ, СПРИТОВІ ДРІЖДЖІ, БУРІ ВОДОРОСТІ, СПИРТОВЕ БРОДІННЯ, РЕКТИФІКАЦІЯ.

ABSTRACT

Master's Thesis: 115 pages, 17 tables, 14 drawings, 50 links.

The object of development is the technology of obtaining bioethanol from brown algae.

Objective: To determine the necessary parameters for maximum efficiency of bioethanol production from brown algae.

A project has been developed for the production of bioethanol production from brown algae to produce environmentally friendly fuels that will meet European standards and help meet the country's need for bioethanol. The technological scheme is based on the digestion of hydrolyzed brown algae of the genus *Laminaria Japonica* using the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, followed by the separation of bioethanol from the broth. The novelty of the project is the technological stage of pre-treatment of raw materials using chemical and enzymatic hydrolysis to improve the environmental performance and alcohol yield.

The materials of this master's thesis can be used in the design of enterprises for the production of bioethanol, which as raw materials will use any kind of brown algae.

The urgency of the project lies in addressing energy and environmental issues related to the lack of quality and environmental fuels that meet all European quality standards.

BIOETHANOL, ETHYL ALCOHOL, HYDROLISE TECHNOLOGY, HYDROLISE, SPRAY YEAST, BORROW ALGAE, ALCOHOLIC FERMENTATION, RECTIFICATION.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1 Методи культивування бурих водоростей	15
1.2 Вплив поживних речовин на ріст бурих водоростей	21
1.2.1 Карбон.....	21
1.2.2 Макроелементи	22
1.2.3 Мікроелементи	25
1.3 Хімізм процесу спиртоутворення.....	29
1.3.1 Процес ферментативного гідролізу	29
1.3.2 Процес спиртового бродіння (ферментації).....	31
1.4 Характеристика біологічного агента	32
1.5 Обґрунтування обраної технології	37
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	51
2.1 Сировина та матеріали.....	51
2.2 Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу	52
2.3 Контроль виробництва біоетанолу	60
2.4 Матеріальний баланс	67
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	68
3.1 Підбір обладнання.....	68
3.2 Конструктивний розрахунок апарата для гідролізу	69
3.3 Розрахунок інокулятора.....	70
3.3.1 Розрахунок перемішуючого пристрою інокулятора	71
3.3.2 Розрахунок барботеру	73
3.3.3 Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування	74
3.4 Конструктивний розрахунок ферментеру для зброджування гідролізату бурих водоростей	76
3.5 Розрахунок діаметру штуцерів	77
3.6 Вибір загальнозаводського обладнання.....	78
4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З БУРИХ ВОДОРОСТЕЙ.....	79

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
					Зміст			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Данилюк М.Є.						
Консул.								
Керівн.		Левтун І.І.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп			
Затверд.								
					Літ.	Арк.	Акрушіє	
						6	115	

4.1	Опис технологічного процесу на стадії зброджування.....	79
4.2	Основні рішення по автоматизації	81
4.2.1	Технологічний контроль	81
4.2.2	Автоматичне регулювання.....	82
4.2.3	Сигналізація та захист	82
4.2.4	Специфікація засобів автоматизації	83
5.	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	84
5.1	Техніко-економічне обґрунтування	84
5.1.1	Визначення потужності виробництва.....	85
5.1.2	Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства....	86
5.1.3	Розрахунок та побудова графіка планово-попереджувальних ремонтів	87
5.1.4	Аналіз техніко-економічних показників	89
5.2	Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту	91
5.2.1	Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства	91
5.2.2	Розрахунок витрат на сировину, матеріали і електроенергію	92
5.2.3	Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат.....	93
5.2.4	Розрахунок собівартості продукції	95
5.3	Очікуваний ефект від впровадження проектних пропозицій	96
6.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	97
6.1	Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних факторів.....	97
6.1.1	Повітря робочої зони	97
6.1.2	Виробниче освітлення	99
6.1.3	Захист від виробничого шуму та вібрацій	100
6.1.4	Електробезпека.....	100
6.1.5	Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання	102
6.2	Пожежна безпека.....	104
7.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	106
	ВИСНОВКИ.....	108
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	110

ВСТУП

На сьогоднішній день виробництво біоетанолу пов'язане з багатьма екологічними проблемами, котрі не вдається вирішити у зв'язку з відсутністю чистої технології. Окрім традиційних методів отримання етанолу з пшениці, кукурудзи та інших рослинних джерел, можна використовувати деревину, торф, відходи сільського господарства та текстильної промисловості. Однак при вирощування мікроорганізмів, анаеробне-спиртове бродіння проводиться на гідролізатах, отриманих при кислотному гідролізі. У цьому процесі залишається лігнін, який не утилізується, але при цьому руйнується природний рослинний світ, а в повітря потрапляють токсичні речовини - метиловий спирт, фурфурол, мурашина і оцтова кислоти, сірчана кислота. [1]

Однак є вихід. Можна розробити технологію на новій сировинній базі – на базі культивування бурих водоростей. Ця технологія передбачає проведення хімічного і ферментативного гідролізу біомаси з висушених морських водоростей, стерилізацію розпадається біомаси, введення в неї дріжджів *Schizosaccharomyces pompe*, або *Candida utilis*, або *Saccharomyces cerevisiae*, здатних викликати бродіння, і подальше відділення отриманого етанолу від бродячого розчину. Технологія дозволяє знизити витрати і підвищити екологічну безпеку при виробництві, завдяки більшій продуктивності бурих водоростей на відміну від інших джерел вуглеводів.

Також, окрім біоетанолу, з бурих водоростей можливо отримувати інші корисні продукти. В даний час отримання окремих біологічно активних речовин з водоростей переходить на промислову основу в зв'язку з доцільністю їх широкого використання для профілактики лікування багатьох захворювань.

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.					8	115
Консул.								
Керівн.		Левтун І.І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Затверд.								

З бурих водоростей, крім альгінатів, отримують ще ряд біологічно активних компонентів - маніт, ламінаран, фукоідан, йодовмісні комплекси, мінеральні концентрати, концентрати амінокислот або їх самостійні препарати, наприклад, глутамінової кислоти. Встановлено, що лужна екстракція ламінарії при гідромодулі 1:2, рН 9, температурі 85-95 °С протягом 1,5-2 годин забезпечує переведення альгінової кислоти в її розчинну сіль – альгінат натрію.

Для культивування бурих водоростей не потрібні складні поживні середовища – достатньо відтворити хімічний склад морської води, а далі світло та температура зробить усе інше.

Актуальність теми. На сьогоднішній день біоетанол, як альтернативне паливо, мало розповсюджене на території України через недосконалість існуючої технології виробництва цього біопалива. На даний момент технології виробництва біоетанола з бурих водоростей та культивування сировинної бази для неї не існує. До того ж, розробка цієї технології має більший екологічний потенціал. Тому ця тема є актуальною.

Новизна полягає у розробці технології на основі нової, для нашої країни, сировинної бази з більшим виробничим і екологічним потенціалом.

Об’єкт дослідження – технологія виробництва біоетанола з бурих водоростей.

Предмет дослідження – особливості культивування бурих водоростей виду *Laminaria japonica*, технологічні аспекти підготовки, обробки сировини та, безпосередньо, одержання корисних продуктів, зокрема біоетанолу.

Мета роботи – визначення необхідних параметрів для максимальної ефективності виробництва біоетанола з бурих водоростей та суміжних корисних продуктів в умовах закритого приміщення.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз літературних джерел щодо методів та умов культивування бурих водоростей виду *Laminaria japonica*, впливу різних факторів на продуктивність культивування та хімічний склад біомаси.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Обґрунтувати вибір технологічної схеми виробництва біоетанолу з бурих водоростей.
- Здійснити технологічні розрахунки та підібрати обладнання для виробництва біоетанолу.
- Розрахувати матеріальний баланс виробництва.
- Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з бурих водоростей.
- Розробити схему автоматизації стадії зброджування.
- Розрахувати економічну доцільність проекту.
- Надати основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Біоетанол – це звичайний етанол, який отримують шляхом переробки рослинної сировини для використання в біоенергетичних цілях.

В ДСТУ 7502:2014 «Паливо синтетичне. Терміни та визначення понять» наведено визначення біоетанолу: це етанол, що виготовляється з біомаси і/або компонентів відходів, що здатні до біологічного розкладу, і використовується в якості біопалива. Етанол, що використовується в енергетичних цілях, відрізняється від того, що використовується в харчовій промисловості в основному тим, що в ньому не допускається присутність води, але в ньому можуть бути присутні такі домішки як метанол і сивушні масла, а також бензин. Допустимість присутності таких домішок зменшує витрати на очистку спирту і полегшує цей процес. [1] Вимоги стосовно показників етанолу, що використовується в якості добавки до палива вказані в ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови» і вказані в *Таблиці 1.1.* [2]

Біоетанол являє собою легкозаймисту рідину. Температура самозаймання – 363 °С. Саме тому існують ряд обмежень і вимог при роботі з ним і його виробництві.

Суміш етанолу з бензином характеризується високими антидетонаційними властивостями, підвищується октанове число, ККД процесу спалювання, повнота згорання та ступінь стискання [1]. В Україні дозволено додавати до 6% біоетанолу в бензин.

Додавання до бензину певної кількості біоетанола покращує експлуатаційні властивості палива, як і його екологічні властивості. Наведені вимоги до біоетанолу, а саме вміст в ньому етанолу, основних домішок та води, мають бути враховані при виборі обладнання і методів в технології виробництва біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Данилюк М.Є.			Літературний огляд	Літ.	Арк.	Акрушіє
Консул.							11	115
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.								

Таблиця 1.1. Вимоги щодо показників біоетанолу згідно ДСТУ

7166:2010[3]

Найменування показника	Значення
Зовнішній вигляд	Однорідна прозора рідина від безбарвного до світло-жовтого кольору, що не містить механічних домішок
Об'ємна доля етилового спирту, %, не менше	92,1
Об'ємна доля метилового спирту, %, не більше	0,5
Масова доля води, %, не більше	1,0
Масова концентрація смол, що промиті розчинником, мг/дм ³ , не більше	50
Об'ємна доля денатуруючих добавок, %, в межах	1,0 – 5,0
Показник активності водневих іонів, рН, в межах	6,5 – 9,0
Масова концентрація хлор-іонів, мг/дм ³ , не більше	32
Масова частка сірки, %, не більше	0,003
Масова частка міді, мг/кг, не більше	0,1

Застосування паливного етанолу у вигляді бензиново-етанольних сумішей дозволяє суттєво зменшити викиди шкідливих компонентів вихлопних газів (закисів азоту, чадного газу і інших токсичних легких викидів). Використання 10% суміші етанолу зменшує (у порівнянні зі звичайним бензином):

- викиди парникових газів на 12-19%;
- викиди оксиду вуглецю на 30%;
- токсичність викидів на 21%;
- кількість твердих часток у вихлопі на 50% [1].

Максимальна відсутність води є важливим параметром біоетанолу. Фазова нестабільність бензиново-етанольної суміші, яка обумовлена наявністю в паливі невеликих кількостей води, є чи не головним її недоліком. Ступінь розшарування залежить від температури, вмісту спирту в суміші і вмісту води в спирті, а також від присутності в бензині ароматичних вуглеводнів. У реальних умовах при зберіганні та транспортуванні спирто-бензинового палива є неминучим його обводнювання, що суттєво впливає на термін придатності палива [3].

Визначено, що біоетанол в якості добавки до бензину покращує експлуатаційні властивості палива, а також його екологічні властивості. Наведені вимоги до біоетанолу, а саме вміст в ньому етилового спирту, основних домішок та води, мають бути враховані при виборі методів і обладнання в технології виробництві біоетанолу [4].

Технологія виробництва біоетанолу схожа з виробництвом харчового спирту і пива. За допомогою нехитрих маніпуляцій з крохмалем і цукром, виділеним з рослин, отримує біоетанол. Виробництво включає кілька етапів:

- Підготовка і подрібнення сировини;

Сировина має пройти ретельний відбір, при якому виключаються усілякі домішки, і надходить на подрібнення. Від розміру частинок безпосередньо залежить вихід продукту і швидкість переробки.

- Зріджування;

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У борошно, отримане шляхом переробки сировини, додається певна кількість теплої води. Нагрітий крохмаль, перетворюється в гель.

- Оцукрювання;

Крохмаль піддається впливу спеціальних ферментів, які перетворюють декстрин (полісахарид, отриманий із крохмалю після термічної обробки) в глюкозу, придатну для зброджування.

- Зброджування;

Оцукрене сусло, до якого додаються дріжджі, надходить в спеціальний бродильний чан (ферментер). При цьому регулюється температура, що дозволяє підтримувати потрібну швидкість бродіння.

- Дистиляція;

Отримана в результаті бродіння суміш містить близько 8% спирту. Щоб досягти необхідного рівня вмісту спирту, бражка піддається обробці, в результаті якої відокремлюється вода і етанол.

- Зневоднення і очищення;

Після попереднього етапу виходить спирт-сирець концентрацією в 96%. За допомогою різних прийомів, що включають в себе також і використання молекулярних сит, видаляється зайва вода.

Пройшовши всі етапи, сировина перетворюється в біоетанол. Виробництво, крім того, передбачає наявність відходів, яким можна знайти застосування. Наприклад альгінова кислота та манніт.

В якості сировини для виробництва біоетанола був обраний вид бурих водоростей *Laminaria japonica*. Ламінарія японська - велика морська бура водорість, слань якої складається з гладкої або сітчасто-зморшкуватої пластини 10-35 см шириною, довжиною 1-13 м, в нижній частині переходить в циліндричний або придушено-циліндричний стовбур довжиною 50-100 см. Слоєвище прикріплюється до кам'янистого ґрунту сильно розвиненими кореневидними виростами - ризоїдами. Краї пластин рівні чи хвилясті. Вся рослина пронизана слизовими ходами і лакунами. Пластина щорічно руйнується, і нова пластина відростає від стовбура. Тривалість життя ламінарії

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

коливається від 2 (Японське море) до 3-4 років (північні моря) в залежності від кліматичних умов. [5]

Загальний хімічний та кількісний склад *Laminaria japonica* представлений у Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Хімічний склад *Laminaria japonica* [4].

Речовина	Вміст у % на суху масу
Альгінова кислота	15,0-32,6
Азотисті речовини	6,8-15,5
Водорослевий крохмаль (ламідан)	8,5-19,6
Целюлоза (альгулеза)	5,7-6,2
Манніт	3,7-28,9
Пентозани	6,5-10,6
Розчинні в ефірі речовини	0,3-1,6

1.1 Методи культивування бурих водоростей

Провідними країнами з вирощування бурих водоростей, безсумнівно, є Японія, Китай, Південна і Північна Корея. В цих країнах ламінарію вирощують в промислових масштабах із застосуванням різних видів меліоративних робіт: скидання на дно районів культивування каменів, пристрій терас, удобрення, пересадка, ярусне культивування, установка заборонених зон промислу, очищення дна. [5]

Перші досліди з розведення ламінарії японської, випадково занесеної в 1920-х рр. в Жовте море, були розпочаті в Китаї. У 1930-і роки з різних районів Японії в район порту Далекий були доставлені спороносні маткові слані і прикріплені до каменів (рис. 1.2.1, А). Зооспори проросли, і через кілька років в цих місцях з'явилися досить густі зарості морської капусти. Цілеспрямоване розведення ламінарії в Китаї розпочато тільки в 1942 р, але вже до 1944 р були отримані врожаї в 300 т. З 1955 р вирощування ламінарії стало рентабельним, і до теперішнього часу плантації розташовані вздовж усього узбережжя країни,

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

створюючи своєрідний штучний водоростевий пояс. [7]

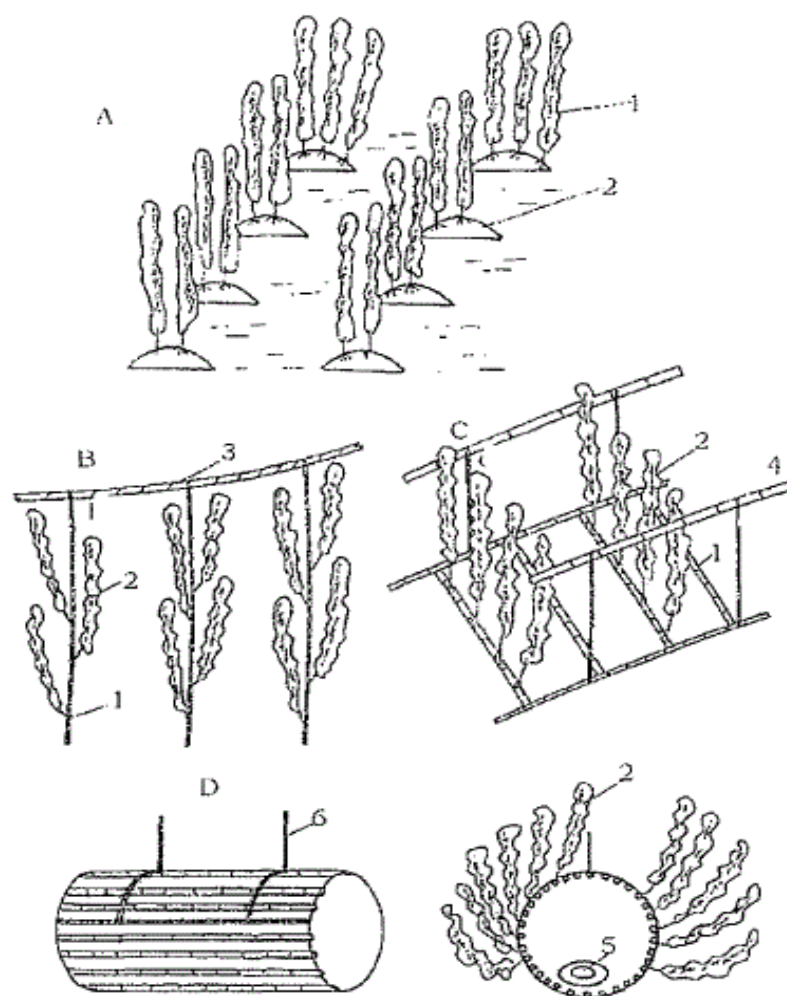


Рис. 1.1.1 Методи культивування бурих водоростей [5].

А – донне культивування; В – культивування на вертикальних мотузках; С – культивування на бамбукових рамах; D – культивування на бамбукових корзинах. 1 – пророслий субстрат; 2 – ламінарія; 3 – несучий канат; 4 – бамбукові опори; 5 – горщик з добривом; 6 – підвісні канати.

Останнім часом ламінарію також почали інтенсивно культивувати в Японії, де до 1970 р її переважно добували з природних заростей. В даний час практично все північне узбережжя Японії (біля о. Хоккайдо і північній частині о. Хонсю) використовується для розведення ламінарії. Площа ламінарієвих плантацій в прибережних водах о. Хоккайдо становить понад 1700 га. Активно вирощується ламінарія по однорічному циклу, для чого в басейнах на березі

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

при оптимальних температурі, освітленості, підгодівлі за короткий термін отримують розсаду і в море на плантації доводять її до товарних розмірів за 8-10 місяців. [7]

Як видно з викладеного вище, культивування ламінарії зводиться до двох основних типів: або вона вирощується на ґрунті, або в товщі води із застосуванням різноманітних плаваючих пристроїв.

Донне культивування широко поширене в Китаї, де в якості субстрату для рослин використовують камені вагою близько 15 кг. У літню пору в місцях з рясним осадженням спор камені укладають рядами на літоралі для сушки, попередньо викосивши зайву донну рослинність. Відстань між каменями 5-10 см, а ряди розташовуються в 2-2,5 м один від одного. На 1 га розміщується 4-4,5 тис. каменів. [8]

Спори проростають в гаметофіти, з яких швидко розвиваються молоді водорості. Далі зростання ламінарії на плантації відбувається, як правило, без втручання людини. Плантації навіть не потребують прополки, так як сміттєві нитчасті водорості гинуть під час осушення на літоралі. Взимку на каменях з'являються паростки, а на початку літа водорості, досягнувши довжини 2,5-3 м, стають придатними для збору врожаю. Урожай збирають під час відливу, занурюючи водорості в тачки. [5]

На ділянках з мулистим дном замість каменів в якості колекторів для ламінарії застосовують корзини (кошики) з бамбукових або вербових прутів. Діаметр корзин 50-70 см, висота 20-50 см. На одному гектарі рядами розміщують до 480 корзин. Перед установкою кошиків в них «висівають» спори ламінарії.

Донне культивування ламінарії окупається тільки в тих місцях, які добре захищені від хвиль. Даний спосіб не вимагає великих капіталовкладень, будь-яких спеціальних матеріалів і пристроїв, великих витрат праці, але і ефективність такого методу недостатньо велика. Створити велике господарство, в якому використовувалася б технологія вирощування ламінарії на дні, практично неможливо.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Також існує культивування ламінарії в однорічному циклі. Біотехнологія культивування ламінарії в однорічному циклі складається з: 1 – отримання ранніх зооспор стимулюванням дозрівання спороносною тканини, 2 – вирощування розсади в цеху (а не в морі, як при дворічному циклі) і 3 – вирощування товарної ламінарії на плантації. Технологічні прийоми вирощування ламінарії в однорічному циклі в кожній країні різні, оскільки розроблені з урахуванням особливостей місцевих кліматичних та інших умов.

Для вирощування використовують такі системи закріплення:

1. Поодинокі троти у вигляді однопрогонових П-образних установок або багатопрогонових «гребінчастих» установок з закріпленням в проміжних точках (рис. 1.2.2). Довжина горизонтального каната 40 м. Якірні відтягнення закріплюються на ґрунті за допомогою бетонних якорів-блоків вагою 2 т. Посадочні мотузки-повідці кріпляться до горизонтального каната через 0.5 м. Підйомна сила плавучості змінюється в залежності від маси зростаючої ламінарії від 450 Н до 4.5 кН. Троти вінілові діаметром 18-21 мм.

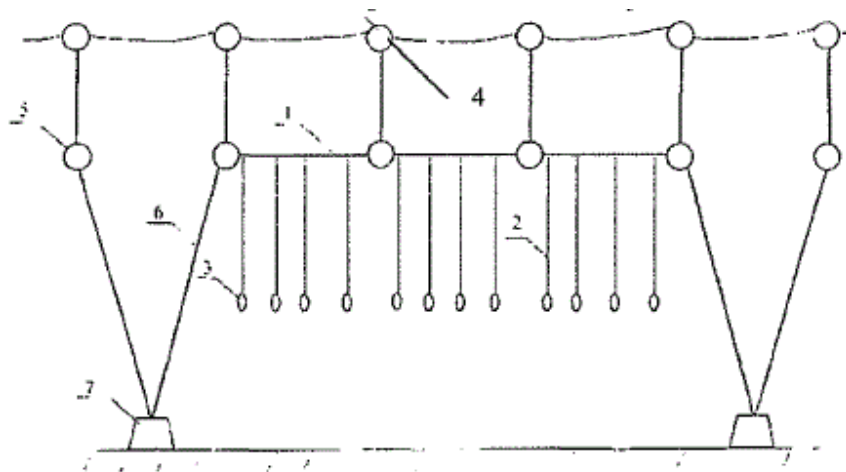


Рис. 1.1.2 П-образна установка для культивування ламінарії. [5]

- 1 – основний горизонтальний несучий трос; 2 – вертикальний повідок;
3 – грузило; 4 – буй; 5 – поплавок; 6 – якорна відтяжка; 7 – якор.

2. Перехресні системи з опорними канатами (рис. 1.2.3) до 70 м довжиною і 20 м шириною утримуються бетонними якорями масою 1 т кожен. Діаметр якірних відтяжок-канатів 40 мм. несучі канати діаметром 25 мм заглиблені на 1-2 м. Вони підтримуються на плаву пластмасовими буями діаметром 20 см. До несучих канатів з інтервалом 5 м підвішені мотузки діаметром 25 мм, а в них через кожні 30 см вплетені посадочні мотузки-повідці з розсадою.

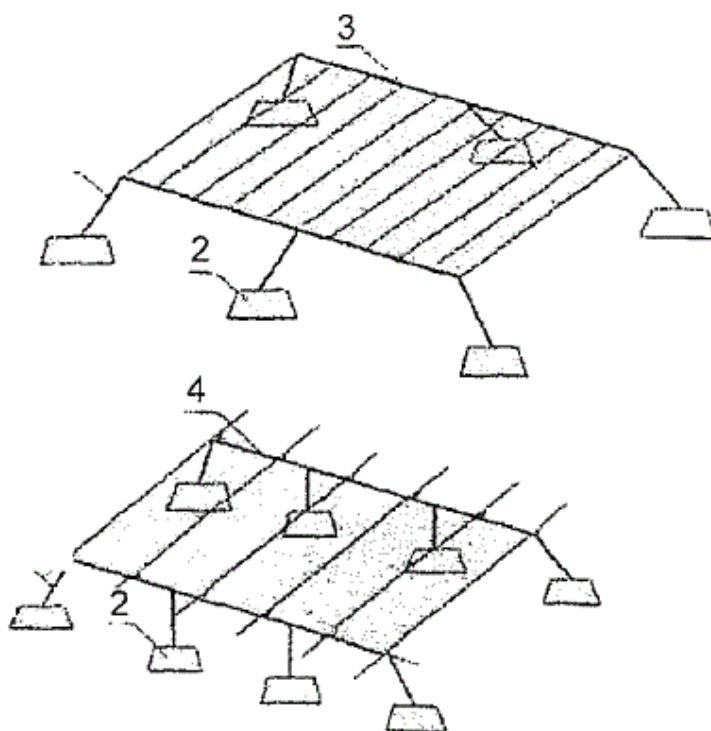


Рис. 1.1.3 Перехресні системи з опорними канатами. [5]

1 – якірна відтяжка; 2 – якір; 3 – канатна рама; 4 – опорні канати.

Метод, розроблений в Японії, Китаї і Кореї, зводиться в основному до того, що зооспори на слані виходять в більш ранні терміни. Потім з них форсованим методом в спеціальних цехах вирощується розсада (із застосуванням трофічних, температурних і світлових стимуляторів).

Розсада виростає до жовтня, що на 3-4 міс. раніше, ніж в природі при дворічному культивуванні. Товарна продукція, яка не поступається за розміром і якісним характеристикам дворічної ламінарії, вирощується за 11-12 міс. [8]

У південних районах Японії весь цикл проводять за один рік: стимулювання спор і запліднення субстратів - у вересні-жовтні; перенос у вирощувальні басейни - в листопаді-лютому; пересадка розсади в море - в березні-вересні і збирання врожаю - у вересні-жовтні. У північних районах Японії період вирощування ламінарії в море розтягнутий, і весь цикл розтягується на 2 роки. Морських господарств з повним циклом вирощування в Японії дуже мало. Як правило, одні господарі спеціалізуються на отриманні розсади, а інші – купують її у розплідників і підрощують в море.

Однорічний цикл починається з відбору слані, здатних до раннього спороносу, і стимулювання дозрівання спороносної тканини.

У січні на плантаціях дворічного циклу проводиться підйом канатів зі сланью з глибини 2 м на 1 м, в лютому – з 1 м на 0-0.5 м. Канати підтримуються в цьому положенні до липня. У березні з цих субстратів відбирають маткові слані. Шляхом аналізу морфометричних ознак слані (співвідношення між довжиною і шириною слані і довжиною черешка) відбираються слані, схильні до раннього спороношення. [9]

Ці слані ростуть на субстратах біля поверхні, в шарі води, багатому біогенами, до кінця липня. З середини травня до середини червня їх підгодовують азотом і фосфорвмісними солями, на півгодини опускаючи субстрат в спеціальну ємність. Це необхідно, бо репродуктивна зрілість настає у водоростей при накопиченні певного запасу органічних речовин. Потім слані знаходяться під світловими екранами для створення оптимального режиму освітленості для спороутворення. Субстрати в море на 30-40 днів (до кінця липня) поміщають в спеціальні полотняні мішки.

Стадія раннього спорофіта починається з моменту поділу зиготи і утворення перших клітин спорофіта. Її тривалість 3-7 днів до отримання розсади 1-2 см. Якщо для стадії гаметофіта головним було дотримання незмінності нормативів температури і освітленості, то для спорофіта до цього додається необхідність надходження поживних речовин, важливих для активного зростання спорофіта. Нормативи освітленості для спорофіта

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

збільшуються до 4000-6000 лк. Зростає також потужність аерації, що необхідно для стимулювання зростання ризоїдів, інакше спорофіти після винесення в море будуть змиті або взяті з ниток.

1.2 Вплив поживних речовин на ріст бурих водоростей

Ключовими хімічними елементами для повноцінного росту будь яких водоростей, в тому числі і бурих, є: карбон (C), азот (N₂), фосфор (P), сірка (S), кисень (O₂). А також інші макро- та мікроелементи такі, як: Na, K, S, Mg, Fe, та інші.

Оптимальна концентрація всіх цих елементів є ключовим фактором нормального розвитку бурих водоростей.

1.2.1 Карбон

Вуглець є основним формуючим елементом живлення. Потрапляння джерела вуглецю виконується, головним чином, фіксацією CO₂. У Світовому океані міститься $1,4 \cdot 10^{21}$ г діоксиду вуглецю (CO₂), що майже в 60 разів більше його вмісту в атмосфері. Вуглекислота надходить в морську воду в основному з атмосфери, виділення із земної кори на дні океанів, в результаті життєдіяльності органічного світу океанів і морів (зокрема, вона виділяється в процесі дихання морських організмів), а також при розкладанні органічних речовин.

Вуглекислота міститься в морській воді не тільки у вільному вигляді (0,51-0,44 см³ в 1 дм³ води), але і в хімічно зв'язаному - в формі карбонатів і бікарбонатів (CaCO₃, CaHCO₃). Загальна кількість його в морських водах дуже велике. Між вільною і хімічно зв'язаною вуглекислою, що міститься в морській воді, існує складне рухлива рівновага. Так як розчинність вуглекислоти підвищується з пониженням температури, то в холодних водах вільної CO₂ більше, ніж в теплих, і відповідно більшу кількість хімічно

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

зв'язаної вуглекислоти утримується в розчиненому стані. При підвищенні температури води кількість CO_2 в ній зменшується, рівновага між вільною і хімічно зв'язаної вуглекислотою порушується і остання випадає в осад у вигляді важкорозчинних карбонатних солей.

Співвідношення та кількість HCO_3^- , H_2CO_3 , CO_3^{2-} у воді залежить від рН, концентрації солей, температури і парціального тиску CO_2 в атмосфері. При рН нижче 7 в середовищі домінує вільний CO_2 , при рН 7–9 домінує гідрокарбонат HCO_3^- , а при рН більше 9 домінують аніони карбонату CO_3^{2-} [9, 10].

1.2.2 Макроелементи

Сюди входять такі, важливі для життєдіяльності клітин, елементи як: Нітроген (N), Калій (K), Фосфор (P), Сульфур (S), Магній (Mg), Натрій (Na), Ферум (Fe).

Нітроген

Нітроген для бурих водоростей є одним з основних, необхідних для росту і життєдіяльності, компонентів.

Більшість фотосинтетичних водоростей можуть рости, використовуючи неорганічні джерела нітрогену, такі як нітрат калію або сульфат амонію. При чому амонійний нітроген споживається першочергово, тоді як нітрат у деяких видів водоростей часто не утилізується поки у середовищі присутні амонійні солі [8]. При збільшенні кількості нітрогену водорості накопичують менше ліпідів тому для культивування для подальшого отримання біодизельного палива необхідно підтримувати стан азотного голодування [9]. На формування пігментних систем, структур хлоропласта та його загальну активність суттєво впливає нестача азоту. Його концентрація визначає активність і кількість ферменту рибулозодифосфаткарбоксилази за допомогою якого відбувається

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

включення та фіксація CO₂ до біосинтетичних процесів клітини [10].

Натрій і калій

В умовах дефіциту калію, ріст і фотосинтез уповільнюються, водночас прискорюються дихальні процеси. Цей елемент виступає кофактором для деяких ферментів і включається до білкового синтезу і осморегуляції. Зменшення вмісту калію супроводжується значним зниження інтенсивності фотосинтезу. У хлоропластах відбуваються зміни структури гран, погіршується водний обмін, порушуються всі процеси фотосинтезу. [8]

Підвищення в середовищі культивування солоності до 2,3 г/дм³ збільшує приріст біомаси та кількість ліпідів в клітинах на 10% [11].

Фосфор

Фосфор входить до складу важливих біогенних сполук: нуклеотидів, нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, ряду вітамінів. Також потреба в фосфатах обумовлена переносом енергії. Споживання ортофосфату клітинами бурих водоростей є енергозалежним процесом, що забезпечується енергією завдяки одному з двох шляхів фотосинтезу або диханню [11]. На поглинання фосфатів впливають такі фактори, як рН і концентрація іонів Na⁺, K⁺, Mg²⁺ або деяких важких металів у середовищі [12].

За умов нестачі фосфору порушуються фотохімічні та темнові реакції фотосинтезу. Особливо різко дефіцит фосфору проявляється при високій інтенсивності світла. Однак при зменшенні вмісту фосфору в два рази інтенсивність фотосинтезу знижується в меншій мірі, ніж ростові процеси і загальна продуктивність рослин [13].

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Сульфур

Як і фосфор, сульфур є життєво необхідним елементом для бурих водоростей, адже входить до складу амінокислот, вітамінів та сульфоліпідів. Потреби у сульфурі забезпечуються в основному за допомогою введення у поживне середовище неорганічного сульфату. Деякі водорості можуть споживати органічний сульфур, що входить до складу сірковмісних амінокислот. Надходження сульфату у клітину відбувається шляхом активного транспорту, який потребує світла і чутливий до температури [12].

Магній

Магній, займаючи центральне положення у молекулі хлорофілу, має велике значення для всіх фотосинтетичних організмів, у тому числі й бурих водоростей. Бере участь у діяльності спряжених білків при синтезі АТФ, впливає на активність реакцій карбоксилювання і відновлення НАДФ. Інші функції полягають у агрегації рибосом у функціональні одиниці і формуванні структури молекули каталази [12].

Ферум

Метаболічно активні форми заліза входять до складу ферментів — каталази, пероксидази, цитохромоксидази, різних форм цитохромів, негемінових залізопротейдів (фередоксин, залізофлавопротейди). Залізовмісні білки беруть участь в окисно-відновних реакціях фотосинтезу, дихання, вуглеводного обміну, фіксації молекулярного азоту [12]. Негемінові форми заліза й молібден входять до складу активного центру нітрогенази, що каталізує відновлення молекулярного азоту в процесі азотфіксації [13]. Показано, що низькомолекулярний фередоксин бере участь практично в усіх біохімічних реакціях хлоропластів. За дефіциту заліза ріст бурих водоростей гальмується,

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

фотосинтез знижується. Вважають, що дефіцит заліза впливає насамперед на організацію пігментних молекул у реакційних центрах фотохімічних систем. При цьому сповільнюються оформлення тилакоїдів і збирання їх у гранули. У хлоропластах міститься близько половини усього заліза, в основному у зв'язаному стані [7]. Експериментально підтверджено, що залізо активно поглинається у світловій фазі культивування й корелює за динамікою цього процесу із синтезом хлорофілу та інших пігментів. За гострого дефіциту заліза різко гальмується ріст, розвиваються дрібні клітини з низьким вмістом фукоїдану [14]. Кількісна потреба мікроскопічних водоростей у залізі більша, ніж в інших мікроелементах.

Залізо зменшує також токсичний вплив низки супутніх елементів, ефективно знижує токсичність для ламінарії хрому, вольфраму, ванадію, кадмію, що важливо для нормального росту водоростей [9 – 11].

1.2.3 Мікроелементи

До мікроелементів відносяться елементи, вміст яких у сухій масі рослини складає від тисячних до сотисячних відсотка. До цієї групи входять: Цинк (Zn), Манган (Mn), Бор (B), Купрум (Cu), Йод (I), Бром (Br), Нікель (Ni), Молібден (Mo), Кобальт (Co), Хлор (Cl).

Цинк

Цинк входить до складу ферментів, які регулюють фосфорний, вуглеводний, білковий обміни, інтенсивність фотосинтезу, окисно-відновний потенціал у клітинах. Вміст його у складі ферментів — 0,2—0,3% [15]. Серед понад 40 ферментів, що містять цинк, широко представлені гідролази й оксидоредуктази. Цинк інтенсифікує біосинтез нуклеїнових кислот, впливає на активність ферментів нуклеїнового обміну, діє як стабілізатор різних біологічних мембран.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для нормального росту багатьох бурих водоростей концентрація цинку в живильному середовищі має становити 0,02—2,0 мг/дм³. Ріст ламінарії не пригнічується за підвищення концентрації цинку до 25—130 мг/дм³, хоча мікроцистис гине вже за 0,2 мг/дм³. Оптимальна концентрація цинку для ламінарії — 0,04—1,0 мг/дм³. За наявності хелатуючого агента Na₂ЕДТА верхня межа оптимальної концентрації цинку в живильному середовищі досягає 20 мг/дм³.

Підвищення концентрація цинку позитивно впливає на поглинання водорістю фосфору. Встановлено, що для отримання 1 кг біомаси потрібно 5—7 мг/дм³ цинку [16].

Манган

Манган мікроелемент необхідний для росту і розвитку як водоростей, так і супутніх організмів — грибів та бактерій [6]. За його дефіциту крім гальмування росту відбуваються морфологічні зміни в клітинах, пригнічується фотосинтез, оскільки він бере безпосередню участь у фотохімічних процесах, сповільнюється виділення кисню [17]. У цих умовах порушується і структура хлоропластів: зменшуються міжгранні ламели, частина з них перетворюється на пухирці, у стромі з'являються порожнини, диски гран виявляють тенденцію до руйнування. Дефіцит мангану призводить до світлоруйнування хлорофілу, що може спричинити хлороз як вторинний симптом нестачі мангану за високої освітленості.

Показником дефіциту цього елемента є зниження вмісту вуглеводів. Мінімальною концентрацію мангану для біосинтезу 1 кг біомаси одні автори вважають 2,5, інші — до 69 мг/дм³ [18].

Манган сприяє фіксації рослинами СО₂ в реакціях карбоксилювання, чим підвищує інтенсивність фотосинтезу, бере участь у процесах відновлення нітратів і асиміляції азоту, регулює співвідношення Fe²⁺↔Fe³⁺, впливаючи таким чином на окисно-відновні процеси, також входить до складу багатьох

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

ферментних систем. Нестача мангану небезпечна для хлоропластів, оскільки він бере участь у розщепленні води фотосистемою II, яка забезпечує процес фотосинтезу електронами [17 – 18].

Ламінарія оптимально росте за вмісту 0,04—0,5 мг/дм³ мангану, за 4 мг/дм³ її ріст поступово пригнічується, але повністю не інгібується навіть за концентрації мангану 40 мг/дм³. Застосування хелатуючого агента — Na₂ЕДТА концентрацією 30—60 мг/дм³ розширює діапазон оптимальних концентрацій мангану до 40 мг/дм³. [14].

Максимальні показники росту водорості зафіксовано за співвідношення концентрацій Mn : Co : Mo близького до 5,0 : 2,5 : 2,0. За його зміни продуктивність культури зменшується [3].

Купрум

Купрум у бурих водоростях відіграє важливу роль у реакціях фотосинтезу. На відміну від мангану, він більше впливає на фоторедукцію, ніж на реакцію Хілла [19]. Участь міді в реакціях фотосинтезу пов'язують із тим, що вона входить до складу цитохромоксидази. Значна частина цього елемента міститься у низькомолекулярному білку каталітичної дії — пластоціаніні [20]. Токсичність високих концентрацій міді пов'язують з пригніченням фотосинтезу, особливо за високої інтенсивності світла. За слабого освітлення токсичність проявляється пізніше, звідки роблять висновок, що депресія фотосинтезу за наявності міді спричиняється накопиченням у клітинах ламінарії продуктів асиміляції [19].

Для водоростей мідь потрібна у дуже низьких концентраціях, як домішка до солей. Виявляються симптоми нестачі міді у ламінарії за її концентрації, нижчої від 0,006 мг/дм³. У більшості бурих водоростей ріст не пригнічується за концентрації міді 0,06—0,70 мг/дм³, пригнічується ріст ламінарії за 0,25—0,50 мг/дм³, діатомових водоростей — за її концентрації 0,25 мг/дм³ [20]. Оптимальною для ламінарії вважають концентрацію міді 0,01—0,10 мг/дм³, за

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

підвищення її до $1,0 \text{ мг/дм}^3$ ріст ламінарії пригнічується повністю [21]. Знижує токсичність міді також ЕДТА.

Молібден

Молібден — незамінний для фіксації атмосферного азоту й відновлення нітратів. Роль молібдену в життєдіяльності бурих водоростей полягає у відновленні нітратів, оскільки він входить до складу нітратредуктази, яка каталізує процес відновлення нітратів до нітритів. Для забезпечення повноцінної активності нітратредуктази бурих водоростей достатня концентрація молібдену $0,048\text{—}0,480 \text{ мкг/дм}^3$ [20]. Для фіксації молекулярного азоту водорості потрібно $4,8 \text{ мкг/дм}^3$ молібдену, в разі живлення її нітратами — у 1000 разів менше [21]. За відсутності молібдену в клітинах виявляються ознаки голодування на азот, оскільки водорості нездатні відновлювати нітрати до нітритів і синтезувати амінокислоти та білки. В разі заміни нітратів на амонійний азот або сечовину водорості не відчують дефіциту молібдену [20].

Повноцінний ріст ламінарії забезпечують дуже низькі концентрації молібдену ($0,01 \text{ мг/дм}^3$), вищі його концентрації не мають пригнічуючої дії [21].

Кобальт

Кобальт у клітинах бурих водоростей незамінний у складі вітаміну B_{12} , кобаламідних коензимів, деяких інших сполук. Щодо зелених водоростей відомо, що кобальт у межах $0,01\text{—}0,50 \text{ мг/дм}^3$ практично не впливає на ріст, наприклад, хлорели. Пригнічення починає виявлятися за його концентрації понад $1,0 \text{ мг/дм}^3$. Однак лише за концентрації кобальту $50\text{—}100 \text{ мг/дм}^3$ продуктивність культури знижується на 50% і більше відносно норми. У разі підвищення вмісту кобальту в поживному середовищі від 0 до 50 мг/дм^3 у 4 рази зменшується вміст хлорофілу, від 51 до 42% — кількість білка, майже в 4 рази — накопичення сухої речовини [21].

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розглянувши роль фізіологічно необхідних елементів у регулюванні продуктивності культур бурих водоростей, зазначимо, що оптимальні концентрації елементів для росту та розвитку не є сталими, а залежать від багатьох чинників: рН поживного середовища, наявності хелатуючих агентів, інтенсивності освітлення тощо. Основні фізіологічно необхідні мікроелементи — Ферум, Манган, Цинк, Купрум, Молібден за оптимальних умов культивування поглинаються клітинами водоростей у співвідношеннях, близьких до $100 \dots 250 : 10 : 2 : 1 : 0,5$ і утворюють згасаючу послідовність $Fe > Mn > Zn > Cu > Mo$. Збереження таких співвідношень у живильному середовищі багаторазово розширює діапазон оптимальних для бурих водоростей концентрацій елементів.

1.3 Хімізм процесу спиртоутворення

Умовно, процес спиртоутворення, можна поділити на два етапи: гідроліз та ферментація. Гідроліз потрібен для розкладу біомаси та підготовки її до ферментації, а ферментація – це безпосередньо спиртове бродіння за участю дріжджів.

1.3.1 Процес ферментативного гідролізу

Ферменти – це білки, які мають властивості каталізаторів, прискорювачів хімічних реакцій. Серед великої кількості різноманітних класів ферментів, найбільш практично значущим класом є гідролази, за допомогою яких відбувається гідроліз хімічних з'єднань з приєднанням в місцях розриву елементів води (H^+ та OH^-). Найбільш відомими гідролазами є протеази, амілази, інвертази.

1,3-β-глюканаза відноситься до підкласу карбогідраз – ферментів гідролізуючих глікозидні зв'язки в полісахаридах.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

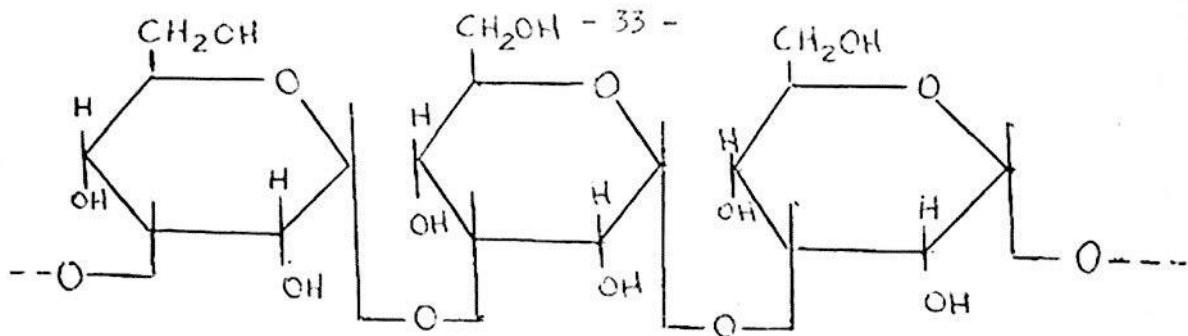


Рис. 1.3.1.1 Ланцюг ангідроглюкозних залишків в ламінарані. [22]

1,3- β -глюканаза по механізму дії діляться на екzogлюканази і ендоглюканази [23]. Перші відщеплюють від нередукованого кінця полімерної молекули ламінарана ангідроглюкозний залишок. В процесі ферментативної реакції до продуктів приєднуються елементи води. До ангідроглюкозного залишку приєднується гідроксил води і утворюється глюкоза, яка і є кінцевим продуктом реакції, каталізуємої екзо- 1,3- β -глюканазою.

Ендоглюканази каталізують реакцію гідролізу внутрішніх глюкозидних зв'язків, розташованих на деякій відстані від кінців полімерної ланцюга вуглеводу. Дія ендо- 1,3- β -глюканази неупорядковане і може відбуватися в будь-якому місці полімерного ланцюга. Продуктами гідролізу на початкових етапах є високомолекулярні олігосахариди, які з часом гідролізуються ендо- 1,3- β -глюканазою до низькомолекулярних ди- і трисахаридів, а також деякої кількості глюкози. Глюкоза, що утворюється при ферментативному гідролізі β -глюкона екzogлюканазами, знаходиться в α -конфігурації, а продукти гідролізу, що відбувається під дією ендоглюканази утворюються в β -конфігурації. [23]

При вивченні дії даного ферменту на ламінаран показано, що він утворює глюкозу в якості кінцевого і єдиного продукту реакції. [24]

1.3.2 Процес спиртового бродіння (ферментації)

Спиртове бродіння - це процес розкладу цукру на спирт та вуглекислий газ в результаті життєдіяльності мікроорганізмів.

Процес спиртового бродіння відбувається за, доволі, складною схемою, з утворенням цілого ряду побічних продуктів. Побічними продуктами спиртового бродіння є альдегіди, гліцерин, сивушні масла, оцтова кислота і деякі інші продукти.

Сумарну реакцію спиртового бродіння можна зобразити таким чином:



Рис. 1.3.2.1 Сумарна реакція спиртового бродіння. [25]

Механізм реакції спиртового бродіння надзвичайно близький до гліколізу. Відмінність починається лише після етапу синтезу пірувату. При гліколізі піруват за участю ферменту ЛДГ і коферменту НАДН відновлюється до лактату. При спиртовому бродінні цей кінцевий етап замінений двома іншими ферментативними реакціями - піруватдекарбоксилазною і алкогольдегідрогеназною. [26]

В клітинах дріжджів піруват спочатку проходить декарбоксилювання, в результаті чого утворюється ацетальдегід. Дана реакція каталізується ферментом піруватдекарбоксилаза, який вимагає наявності іонів Mg та коферменту (ТПФ):



Рис. 1.3.2.2 Загальна реакція декарбоксилювання пірувату. [27]

Синтезований ацетальдегід приєднує до себе водень, відщеплюється від НАДН, відновлюючись при цьому в етанол. Реакція каталізується ферментом алкогольдегідрогеназа:



Рис. 1.3.2.3 Реакція ферментативного відновлення етанолу з ацетальдегіду. [27]

Таким чином, кінцевими продуктами спиртового бродіння є етанол і CO_2 , а не молочна кислота, як при гліколізі.

1.4 Характеристика біологічного агенту

Забезпечення гідролізного виробництва неможливе без дріжджів. Головним чином до них відносяться наступні роди: *Saccharomyces* і *Shizosaccharomyces* – використовуються у процесі спиртової ферментації. В гідролізно-спиртовому виробництві використовують промислові штами дріжджів, які відносяться до видів *Shizosaccharomyces pombe* і *Saccharomyces cerevisiae*. Обидва види дріжджів мають необхідні властивості для виробництва біоетанолу з бурих водоростей.

Морфологія. *Shizosaccharomyces* мають паличковидну форму дріжджових клітини довжиною 4–18 мкм і діаметр 3–5 мкм, розмножуються мітотичним шляхом поділу клітин навпіл.

Найбільш адаптованими до гідролізних субстратів виробничих штамів дріжджів *Shizosaccharomyces* є такі: КС-1, ВС-1, ХорС-1 та ін..

Saccharomyces мають круглі, овальні, рідше видовжені клітини з середнім розміром 10–15 мкм. Оточена товстою клітинною стінкою, а всередині розташовані всі органели типової клітини: ядро, мітохондрії, плазмалема, вакуолі і т. д. Розмножуються брунькуванням. Ріст відбувається під час формування бруньок. Брунька до моменту відділення виростає в розмірах майже рівною материнській клітині.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Фізіолого-біохімічні ознаки. Оскільки дріжджі асимілюють готові органічні сполуки і не засвоюють H_2CO_3 , вони відносяться до гетеротрофних організмів. По типу дихання вони відносяться до факультативних анаеробів, оскільки здатні розвиватися як в анаеробних умовах відсутності кисню, так і в аеробних [28].

При спиртовому бродінні відбуваються ферментативні перетворення гексозних моносахаридів в умовах відсутності кисню, що призводять до їх неповного окиснення і супроводжуються виділенням енергії. В цих реакціях акцептором водню є не кисень, а проміжний продукт перетворення вуглеводів – оцтовий альдегід. Біохімічні процеси протікають всередині дріжджової клітини, куди моносахариди і необхідні неорганічні поживні речовини через напівпроникну мембрану надходять. Продукти метаболізму – етанол, діоксид карбону і домішки виділяються з клітини в зброджуване сусло [28].

Більш високу бродильну активність мають *Shizosaccharomyces* і забезпечують підвищений вихід спирту з моносахаридів в порівнянні з *Saccharomyces*. Однак вони гірше переносять непланові зупинки цехів, планово-попереджувальний і капітальний ремонт, а також будь-які порушення технологічних параметрів процесу бродіння. Ці культури забезпечують вихід етанолу 58–59 л з 100 кг зброджуваних моносахаридів. *Saccharomyces* забезпечують вихід спирту 55–58 л з 100 кг зброджуваних вуглеводів.

Дріжджі живуть і розмножуються в обмеженому температурному діапазоні тому для їх нормальної життєдіяльності необхідна відповідна температура від 29 °С, до 30 °С. При надто високій або низькій температурі життєдіяльність дріжджів пригнічується або зовсім припиняється. Максимальна температура для розвитку дріжджів – 38 °С, мінімальна – 5 °С, при температурі 50 °С дріжджі гинуть. [29]

Оптимальні температури для розвитку та виявлення максимальної бродильної активності не завжди співпадають. Дріжджі, вирощені при температурі 17–22 °С, мають велику бродильну енергію [29]. Найкращим температурним режимом для розмноження і бродіння дріжджів є температура в

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

межах 30–33 °С [30].

При підвищенні температури дикі дріжджі і бактерії розмножуються значно швидше сахароміцетів. Якщо при 32 °С коефіцієнт розмноження диких дріжджів у 2 – 3 рази більший ніж коефіцієнт розмноження сахароміцетів, то при 38 °С він вже у 6 – 8 разів більший. У результаті прискореного розвитку бактерій підвищується кислотність бражки, в результаті зменшується вихід спирту [30].

На ріст дріжджів значною мірою впливає кислотність середовища в якому вони знаходиться. Електричний заряд колоїдів плазматичної мембрани клітин змінюють іони водню і в залежності від концентрації можуть збільшувати або зменшувати її проникність для окремих речовин та іонів [30]. Від значення рН залежить швидкість надходження поживних речовин у клітину, активність ферментів, утворення вітамінів. При зміні кислотності середовища змінюється і характер процесу бродіння. Якщо кислотність зміщується в лужний бік, то збільшується вихід гліцерину.

У межах кислотності середовища від 2 до 8 життєдіяльність дріжджів зберігається; для їх вrostу оптимальним є рН 4,8 – 5,0. Якщо рН нижче 4,2 дріжджі продовжують розвиватися, однак ріст кислотоутворюючих бактерій припиняється. Ця властивість дріжджів використовується для пригнічення розвитку бактерій у середовищі, де вони присутні, яке підкислюють до рН 2,8 – 4 і витримують певний час [30].

Про потребу дріжджів у поживних речовинах роблять висновок по їх хімічному складу, який залежить від поживного середовища, умов культивування дріжджів та їх фізіологічних властивостей. Середній елементарний склад дріжджової клітини (%): вуглець 47, водень 6,5, кисень 31, азот 7,5 – 10, фосфор 1,6 – 3,5. Вміст інших елементів незначний (%): кальцію 0,3 – 0,8, калію 1,5 – 2,5, магнію 0,1 – 0,4, натрію 0,06 – 0,2, сірки 0,2. Також у дріжджах присутні і мікроелементи (мкг/кг): залізо 90 – 350, мідь 20 – 135, цинк 100 – 160, молібден 15 – 65 [29].

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Для нормального розвитку і спиртового бродіння дріжджі потребують вітамінів, які є кофакторами багатьох ферментів. Сахароміцети частково можуть синтезувати всі вітаміни, окрім біотину. Ненасичені жирні кислоти з 18 атомами карбону, особливо олеїнова, також є важливими ростовими факторами. Стимулююча дія олеїнової кислоти спостерігається тільки при малій її концентрації, до 0,5 мг/мл [28].

Вуглецеве живлення. Дріжджі не асимілюють пентози, але використовують вуглець різних органічних сполук: фруктози (D-форми), глюкози, галактози, манози. При відсутності гексоз джерелом вуглецю можуть бути також гліцерин, маніт, етиловий та інші спирти, органічні кислоти (молочна, оцтова, яблучна, лимонна) [28].

При періодичному культивуванні в першу чергу споживаються глюкоза і фруктоза. Послідовність засвоєння жирних кислот залежить від штаму дріжджів та складу цих кислот. Як правило, у першу чергу засвоюється з суміші те джерело вуглецю, яке забезпечує більшу швидкість розмноження дріжджів.

Зі збільшенням швидкості розбавлення середовища при безперервному культивуванні дріжджів у ньому залишається більше того вуглецевого компонента, який засвоюється в останню чергу.

Олігосахариди, з яких спиртові дріжджі використовують мальтозу і сахарозу, попередньо гідролізуються відповідними ферментами дріжджів до моносахаридів. При переході від безкисневих умов до аеробних пригнічується здатність дріжджів зброджувати мальтозу і глюкозу. Дріжджі споживають мальтозу тільки якщо у середовищі відсутності глюкоза і фруктоза.

Органічні кислоти мають важливе значення у метаболізмі вуглецю, енергетичному обміні мікроорганізмів, у синтетичних та десиміляційних процесах. Використання кислот жирного ряду як джерел вуглецю залежить від виду і раси дріжджів, концентрації кислоти, довжини її вуглецевого ланцюжка та ступеню електролітичної дисоціації [28].

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Азотне живлення. Всі амінокислоти, які входять у склад білків, дріжджі можуть синтезувати безпосередньо з неорганічних азотистих речовин при використанні у якості вуглецю органічних сполук, як проміжних продуктів розпаду вуглеводів, які утворюються при зброджуванні і диханні. Дріжджі засвоюють дві форми азоту: органічний та аміачний азот. Азот сульфату амонію, сечовини, аміачних солей оцтової, молочної, яблучної і янтарної кислот вони ефективно використовують. Аміачні солі дріжджів у присутності вуглеводів є джерелом тільки азоту; однак при його використанні звільняються кислоти, які змінюють кислотність середовища. Аміачний азот дріжджами споживається краще, ніж азот багатьох амінокислот.

Амінокислоти одночасно є джерелом як азоту, так і вуглецю. Останній засвоюється з кетокислот, що в результаті відщеплення аміногруп утворюються. Можлива і не опосередкована асиміляція амінокислот з поживного середовища, яке містить їх повний набір та зброджувані вуглеводи. Тому, внаслідок цього, знижуються витрати вуглеводів на живлення дріжджів і, в деякій мірі, збільшується вихід спирту при зброджуванні.

Для використання органічного азоту (амінокислот, амідів) більшості дріжджам необхідні вітаміни (біотин, пантотенова кислота, тіамін, піридоксин та ін.). Дріжджі не засвоюють такі азотисті сполуки, як білки, бетаїн, холін, пурини й аміни у вигляді етиламіну, пропіл- і бутиламіну. Пептиди займають середню позицію між амінокислотами і білками. Використання дріжджами пептидів зменшується із підвищенням їх складності. Деяка кількість пептидів у середовищі поряд з іншими формами азоту сприяє засвоєнню амінокислот [28].

Фосфорне живлення. В анаеробних умовах дріжджі засвоюють фосфор головним чином у початковий період зброджування – 80-90% від максимальної кількості у дріжджах. Молоді дріжджі, які енергійно розмножуються, більш багаті фосфором у порівнянні з дріжджами старими, які не брунькуються [28].

У суслі з крохмалевмісної сировини є достатня кількість фосфоровмісних сполук, а у мелясному суслі їх недостатньо [29]. Для гідролізного виробництва

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно для ефективного бродіння до сусла додавати джерела фосфорного живлення [27].

Культуральні ознаки. В культурах на щільних поживних середовищах дріжджі ростуть у вигляді колоній різної форми, кольору і консистенції, а в рідких середовищах утворюють плівки, мут і осад. На перший погляд колонії дріжджів не відрізняються від бактеріальних: для цих колоній не характерний як для актиноміцетів і грибів повітряний міцелій, а частіше колонії бувають щільними, гладкими і густими.

Поряд з основним штамом спиртоутворюючих дріжджів в склад виробничої мікрофлори зазвичай входять дріжджі-супутники («дикі» дріжджі), які, як правило, мають нижчу продуктивність в порівнянні з основною культурою. Якщо основна культура *Shizosaccharomyces*, то домішками зазвичай є представники *Saccharomyces* і навпаки. В якості сторонньої мікрофлори в гідролізно-спиртовому виробництві зустрічаються також бактерії, що спричиняють молочно-кисле, оцтово-кисле і масляно-кисле бродіння, а також деякі гриби [28].

Отже, розглянувши основні культуральні, морфологічні, фізіолого-біохімічні характеристики продуценту визначено – процес зброджування потрібно проводити в безкисневих умовах з відповідними параметрами (при $T = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $\text{pH} = 4,5$), для нормального росту дріжджів до середовища необхідно додати джерела живлення фосфору і азоту, а також, по можливості, і інших чинників росту, таких як вітаміни; ефективніше проводити культивування безперервним способом в двох, послідовно з'єднаних апаратах.

1.5 Обґрунтування обраної технології

Головною перевагою використання бурих водоростей у якості сировини для виробництва біоетанола – значний приріст біомаси на одиницю площі в порівнянні з іншою крохмалевмісною сировиною. Середня кількість біомаси, яку зазвичай дають водорості, становить $15\text{--}25\text{ г/м}^2$ сухої маси на добу, а

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

максимальна швидкість її утворення коливається в межах 30-40 г/м² сухої маси на добу. З одного акра землі можна отримати 255 літрів соєвого масла або 2400 літрів пальмового масла. З такої ж площі водної поверхні можна отримати 36000 л спирту.

У виробництві біоетанолу вартість сировини (крохмаль, цукор) становить 70-80% собівартості етанолу. При виробництві біоетанолу з морських водоростей вартість сировини знизиться до 30% собівартості етанолу, якщо виробництво буде побудовано на березі моря, де будуть збиратися водорості.

Санітарна підготовка виробництва. Метою стадії є забезпечення необхідних виробничих умов. Перед стартом виробничого процесу, для його безперебійного проведення, проводиться підготовка персоналу і підготовка обладнання та комунікацій.

Підготовка персоналу. Мета стадії – підготувати персонал до початку роботи та забезпечити заходами охорони праці на виробництві. Персонал повинен пройти санітарно-медичне обстеження, інструктаж та отримати засоби індивідуального захисту перед початком роботи.

Підготовка обладнання та комунікацій. Метою стадії є забезпечення чистоти і справності обладнання і комунікацій. Обладнання та трубопроводи миються та стерилізуються перед роботою для дотримання санітарних умов. Використовують для цього миючі засоби і розчини лугів. Перевірка обладнання на герметичність під тиском також має проводитись.

Підготовка пари. Метою стадії є забезпечення певних технологічних операцій, а саме процесу гідролізу і очищення спирту у ректифікаційних колонах, у ефективному та зручному теплоносії, яким є водяна пара. В процес подається гаряча пара під тиском 2 атм. Підготовка пари здійснюється стандартними методами.

Отримання посівного матеріалу. Ця стадія потрібна щоб отримати товарну біомасу дріжджів для здійснення спиртового бродіння поживного середовища і, як наслідок, отримання етилового спирту. При подачі в ферментер дріжджів суспензія повинна мати потрібну концентрацію клітин і

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

максимальну активність дріжджів. Спочатку потрібно приготувати поживне середовище, а потім реалізується процес культивування спиртових дріжджів.

Приготування поживного середовища. Метою даної стадії є забезпечення виробничої культури дріжджів усіма необхідними для росту речовинами. Для забезпечення дріжджів необхідними поживними речовинами готують поживне середовище. Середовище готують на основі солодового сусла та додають до нього елементи азотного і фосфорного живлення (сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній, фосфорна кислота). Середовище стерилізують і охолоджують до 32 °С.

Відновлення музейної культури дріжджів.

Ступеневе збільшення кількості біомаси спиртових дріжджів є метою стадії. Спершу, з банку клітин чисту культуру розмножують у декілька стадій: у пробірках, у колбах і вже потім в кюветах. Далі виконують культивування спиртових дріжджів першої генерації.

Існують два метода культивування: періодичний і безперервний. Головним рішенням на спиртових заводах, як правило, є періодичний спосіб культивування дріжджів. Приріст дріжджових клітин при періодичному способі підпорядковується наступному рівнянню:

$$X = X_0 \cdot e^{\mu \tau},$$

Де:

X – концентрація клітин в момент часу τ ;

X_0 – початкова концентрація клітин;

μ – питома швидкість росту дріжджів;

τ – час культивування.

Розмножену на кюветах музейну культуру спиртових дріжджів вносять до отриманого поживного середовища. Процес проводять в інокуляторах при температурі 25 – 30 °С. Коли відсоток об'єму біомаси дріжджів буде складати 10% від об'єму апарату – її направляють у більший за об'ємом інокулятор.

Отримання товарної біомаси. Метою стадії є одержання біомаси виробничих дріжджів з необхідною концентрацією клітин дріжджів.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Періодичним способом у більшому інокуляторі культивують культуру наступної генерації. Товарна біомаса дріжджів має мати концентрацію дріжджів 80 – 100 г/л. Культивування спиртових дріжджів відбувається до досягнення дріжджами 10% об'єму бродильного апарату. В бродильний ферментер на зброджування подають отриману товарну біомасу з вказаною концентрацією клітин дріжджів.

Доставка сировини. Метою стадії є отримання відповідної за розмірами і чистотою сировини, що представлена бурими водоростями *Laminaria Japonica*. Біомаса водоростей на підприємство постачаються автомобільним і залізничним транспортом, і за допомогою конвеєрів транспортуються на виробництво. Якщо виробництво розташоване неподалік від моря – витрати на транспортування сировини будуть значно знижені. Сировина, що постачаються, може не відповідати необхідним розмірам або містити домішки, тому виконують стадію підготовки.

Очищення сировини від домішок. Метою стадії є очищення сировини від можливих домішок, що можуть бути присутні в ній.

Подрібнення сировини. Метою даної стадії є подрібнити біомасу водоростей до розмірів 2-3 см.

Приготування поживного середовища. Метою стадії є отримання поживного середовища, що містить всі необхідні поживні речовини з біомаси водоростей для зброджування дріжджами і отриманням спирту.

Попередня підготовка сировини. Досягається технічний результат за рахунок проведення спочатку хімічного гідролізу, а потім ферментативного гідролізу та проведення ферментації за допомогою спеціальних дріжджів. Завдяки цьому в процесі спиртоутворення не виділяється лігнін – головний фактор, який погіршує екологічність виробництва.

У даному проекті хімічний гідроліз проводиться пергідролем (0,2%) 30 хвилин. Під дією пергідролу відбувається гідроліз ліпідів і розрив зв'язку в комплексі білок-пектин, що призводить до розриву клітинної стінки. Всі внутрішньоклітинні вуглеводи виходять назовні. Наступним етапом є

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

проведення ферментативного гідролізу при додаванні ферментів - целюлази, геміцеллюлази, пектинази і сульфатази при 50°C, процес проводили протягом 2-4 годин.

Фільтрація. Мета стадії – відділити залишки водоростей від розчину вуглеводів. Фільтрація відбувається через нутч-фільтр закритого типу, де залишки водоростей залишаються на фільтрі, а вуглеводи переходять в фільтрат.

Гідроліз сировини. Наступним етапом є проведення ферментативного гідролізу при додаванні ферментів - целюлази, геміцеллюлази, пектинази і сульфатази при 50°C, процес проводили протягом 2-4 годин, при рН 5,0.

Процес переривають кип'ятінням розчину при 85°C протягом 5 хвилин. Нагрівання відбувається за допомогою теплоносія – води. Випарювання та нейтралізація гідролізату не потребується, тому що при випарюванні глюкоза перетворюється на гідроксиметилфурфурол, тим самим зменшуючи вихід етанолу в наступній стадії, а нейтралізація не потребується, тому що рН середовища є відповідним для зброджування.

Стадія зброджування поживного середовища. Метою стадії є отримання етилового спирту при зброджуванні дріжджами моносахаридів поживного середовища. Дана стадія є найбільш важливою в процесі виробництва біоетанолу.

В якості поживного середовища використані ферментативні гідролізати водоростей, отримані під час гідролізу водоростей (представники бурих і червоних водоростей) - ферментативним комплексом, що містить целюлазу, геміцеллюлазу і пектиназу. Крім моноуглеводів і дисахаридів, гідролізат містять амінокислоти, пептиди і білки, солі фосфору і мінеральні катіони (солі іонів Ca, Mg, Na і K) і вітаміни групи А і В.

Приготування поживного середовища включає розведення ферментативних гідролізатів в 2 рази (до концентрації вуглеводів 14%) питною водою, доводили (NaOH) рН до значення 5,0.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Зазвичай на гідролізних заводах прийнята технологія безперервного зброджування в 2-членній бродильній батареї з дріжджовим рециклом (тривіальна назва «неперервне сепарційне зброджування») у відповідності з блок-схемою на рис. 1.5.1 [28].



Рис. 1.5.1 Блок-схема зброджування гідролізного суслу [28]

Найдавнішим способом зброджування є періодичний спосіб. Для нього характерне проведення бродіння від початку до кінця в одному апараті [31]. Цей процес відбувається, як правило, в три стадії: зброджування – активація дріжджів, без помітних ознак бродіння; безпосередньо бродіння – швидке споживання цукру, інтенсивне виділення вуглекислоти і утворення 80 – 85% всього можливого спирту; доброджування – відбувається засвоювання важкозброджуваної галактози, по мірі використання поживних речовин і накопичення продуктів бродіння швидкість процесу уповільнюється, дріжджі осідають. Періодичний метод бродіння має ряд недоліків, основними з яких є тривалість процесу (3 – 4 доби) і його трудоемність [32].

Також існує циклічний спосіб бродіння, який є різновидом напів-безперервних способів, в яких основний процес спиртового бродіння протікає безперервно, а доброджування – періодично. В цьому способі бродильні ферментери з'єднуються переточним трубопроводом (рис. 1.5.2).

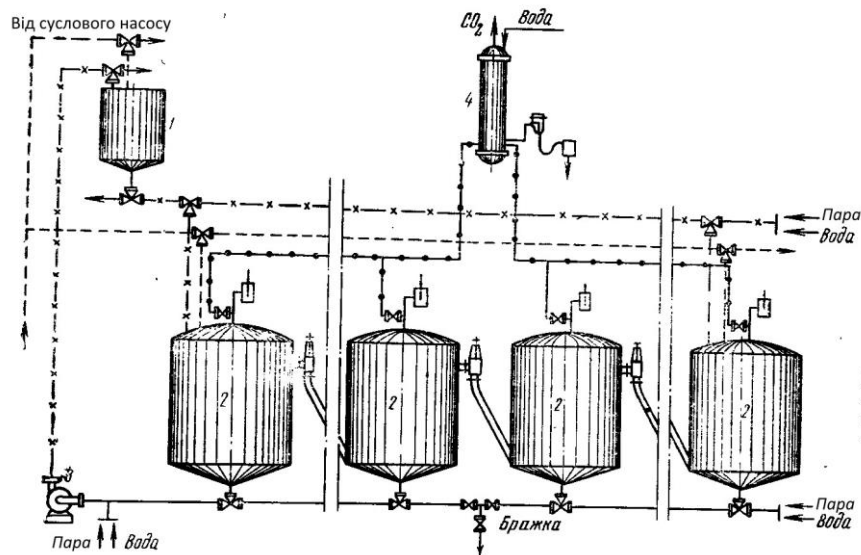


Рис. 1.5.2 Схема циклічного зброджування сусла [29]:

1 – зброджувач; 2 – бродильні апарати; 3 – насос; 4 – спиртовловлювач.

Крім самих ферментерів необхідний зброджувач. З'єднувальна комунікація підводиться до зброджувача, двох перших і останнього апарату бродильної батареї. В цій системі повинно бути не менше шести апаратів. Завантажується батарея бродильних апаратів через головний апарат, яким по черзі стає то перший, то останній апарат. При першому циклі зброджування дріжджі зі зброджувача 1 і сусло поступають в перший по потоку бродильний апарат 2. Після заповнення цього апарату бражка перетікає в другий бродильний апарат, з нього в третій і т.д., заповнюючи п'ять апаратів при 6-членній батареї, на що потрібно 60 – 62 год. Після цього бражку у всіх апаратах залишають на дозброджування, а надходження сусла переводять на останній апарат, який до цього часу повинен бути промитий і простерилізований. [31]

Наступний цикл спиртоутворення починається з заповнення батареї в оберненому порядку, з останнього апарату. Поступає на перегонку спочатку зріла бражка першого циклу з передостаннього апарату і так до першого. Під час переробки нормованої сировини в якості маточних дріжджів, зазвичай, використовують відбирання бражки при бродінні на 8 – 10% з першого по потоку бродильного апарату і за допомогою насоса перекачують в пропарений і промитий зброджувач.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

В першому апараті відбувається головне бродіння, яке закінчується вже у другому. Доброджування відбувається в слідуючих апаратах. Тривалість перебування бражки в апаратах при роботі циклічним методом неоднакова: найдовша в перших, найменша в апаратах останніх по потоку.

В даному методі можливе закисання бражки в перших чанах. Також для більш ефективної роботи потрібна установка двох паралельних ліній підготовки напівпродуктів. Організація роботи по циклічному способі не складна, і вихід спирту при тривалості процесу 60 – 62 год такий самий, як і при 72 год періодичного бродіння [31].

В гідролізній промисловості, як зазначалось раніше, для зброджування бражки найчастіше застосовують неперервний метод бродіння з поверненням відсепарованих дріжджів в бродильну систему. Схема цього процесу зображена на рис. 1.5.3.

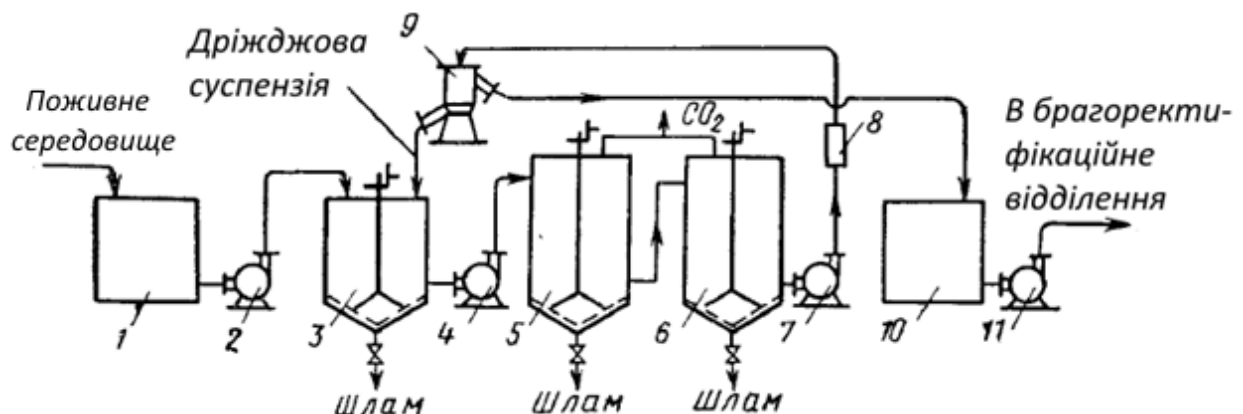


Рис. 1.5.3 Технологічна схема сепараційного методу бродіння [33]:

1 – збірник; 3 – ферментер; 5 – головний ферментер; 6 – хвостовий ферментер;
8 – фільтр; 9 – сепаратор; 10 – збірник бражки; 2, 4, 7, 11 – насоси.

В ферментер 3 підготовлене поживне середовище зі збірника 1 неперервно перекачується насосом 2. Туди ж самоплином поступає дріжджова суспензія із сепараторів 9, яка відділена від бражки. Концентрація дріжджової суспензії складає 90 – 120 г пресованих дріжджів (з вологістю 75%) на 1 л. На кожний кубічний метр дріжджової суспензії додається 8 – 10 м³ сусла.

Безперервно насосом 4 суміш дріжджів і сусла з ферментеру подається в головний апарат 5 бродильної системи, де відбувається саме головна стадія спиртового бродіння. Каталізують розщеплення гексоз ферменти, які містяться в дріжджах, та утворюється вуглекислий газ і етиловий спирт. Етиловий спирт переходить в рідинну частину, а вуглекислий газ, що виділяється в ній, забираючи дріжджі, піднімається на поверхню. Дотикаючись з поверхнею рідини бульбашки вуглекислого газу лопаються та дріжджові клітини опускаються вниз. Потім, збродивши наступну порцію вуглеводів, знову піднімаються разом з вуглекислотою. Такий неперервний рух дріжджів сприяє перемішуванню рідини в ферментері [32]. Бражка самоплином поступає в хвостовий чан 6 з головного бродильного чана. Засвоєння дріжджами найбільш важкозброджуваних цукрів в процесі доброджування відбувається, наприклад галактози, і завершення ланцюжка проміжних реакцій спиртового бродіння. Бражка насосом 7 по завершенню бродіння перекачується через сітчастий фільтр 8 на сепаратори 9. В фільтрі відбувається вловлювання частинок випадкових предметів, що потрапили в бражку. На сепараторах бражка розділяється на два потоки: дріжджову суспензію і відсепаровану спиртову бражку. Остання збирається в збірнику 10, подається насосом 11 в ректифікаційне відділення, а самотоком потрапляє дріжджова суспензія в ферментер 3, де знову змішується зі свіжим суслом [32].

Процес проводиться в анаеробних умовах при температурі 32 – 34° протягом 5 – 7 год. рН середовища повинно складати близько 4,5. Бродильна здатність дріжджів (виражена в кг субстрату, що зброджують 1 кг дріжджів за год) складає 0,2 – 0,3 кг/(кг·год). Утворена в результаті бродіння бражка містить 1 – 1,5% етанолу. Концентрація незброджених гексоз не повинна перевищувати 0,1% [31]. Економічний коефіцієнт по спирту $Y_{сп}$ складає від 0,54 до 0,595 л/кг [34].

Проведення процесу бродіння безперервним способом є найбільш популярним способом в промисловості і результати показує найкращі.

Процес характеризується високим виходом спирту, низькою тривалістю і

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

можливістю рециркуляції дріжджів. Також зважаючи, що брагоректифікаційні установки працюють у безперервному режимі, то вибір безперервного способу бродіння є більш раціональним.

Відділення дріжджів з бражки. Метою стадії є відділення клітин дріжджів від бражки і отримання чистої бражки. При використанні сепараторів досягається високий рівень очищення культуральної рідини від клітин дріжджів. Сепаратор працює в режимі 4500 – 6000 об/хв при якій відбувається розділення рідини на два потоки: дріжджі відправляють на рециркуляцію, а бражка йде на очищення.

Виділення етанолу на ректифікаційній установці. Мета цього процесу очистки спирту – звільнити від більшості його супровідних домішок і отримати спирт стандартної концентрації та чистоти. Як типове рішення на всіх спиртових заводах, для відділення домішок і зменшення частки води у кінцевому продукті обрано процес ректифікації. Одночасно домішки, що відбираються, повинні бути максимально очищені від етилового спирту. В цьому випадку втрати спирту з побічними продуктами будуть мінімальні [33].

На сучасних спиртових заводах брагоректифікаційні апарати є основним типом апаратів для отримання очищеного спирту [35]. Зазвичай брагоректифікаційні установки мають три основні колони і одну – три додаткові, що встановлюються у разі необхідності. При отриманні ректифікованого спирту безпосередньо з бражки частіше намагаються попередньо звільнити частину бражки від екстракційних речовин, твердих речовин і більшої частини води за рахунок встановлення бражної колони. В залежності від способу включення бражної колони в схему розрізняють брагоректифікаційні установки прямої, непрямої і напівпрямої дії. Бражна колона служить для відділення легкої частини бражки від нелетючої. Звільнена від летючої частини бражка виводиться з нижньої частини колони в вигляді барди. По своєму складу спиртоводна пара і бражний дистилят, що виходять з бражної колони відрізняються від спирта-сирцю тільки по концентрації. Якщо

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

концентрація спирта-сирцю не менше 88 % об., то спиртоводна пара і бражний дистилят мають концентрацію 25 – 55 % об.. Склад домішок спирту в основному такий самий [35].

Найбільш доцільно для отримання ректифікованого спирту з потрібними показниками буде використати трьохколонну брагоректифікаційну установку. Дана установка складається з бражної, ректифікаційної і метанольної колон (рис. 1.5.4).

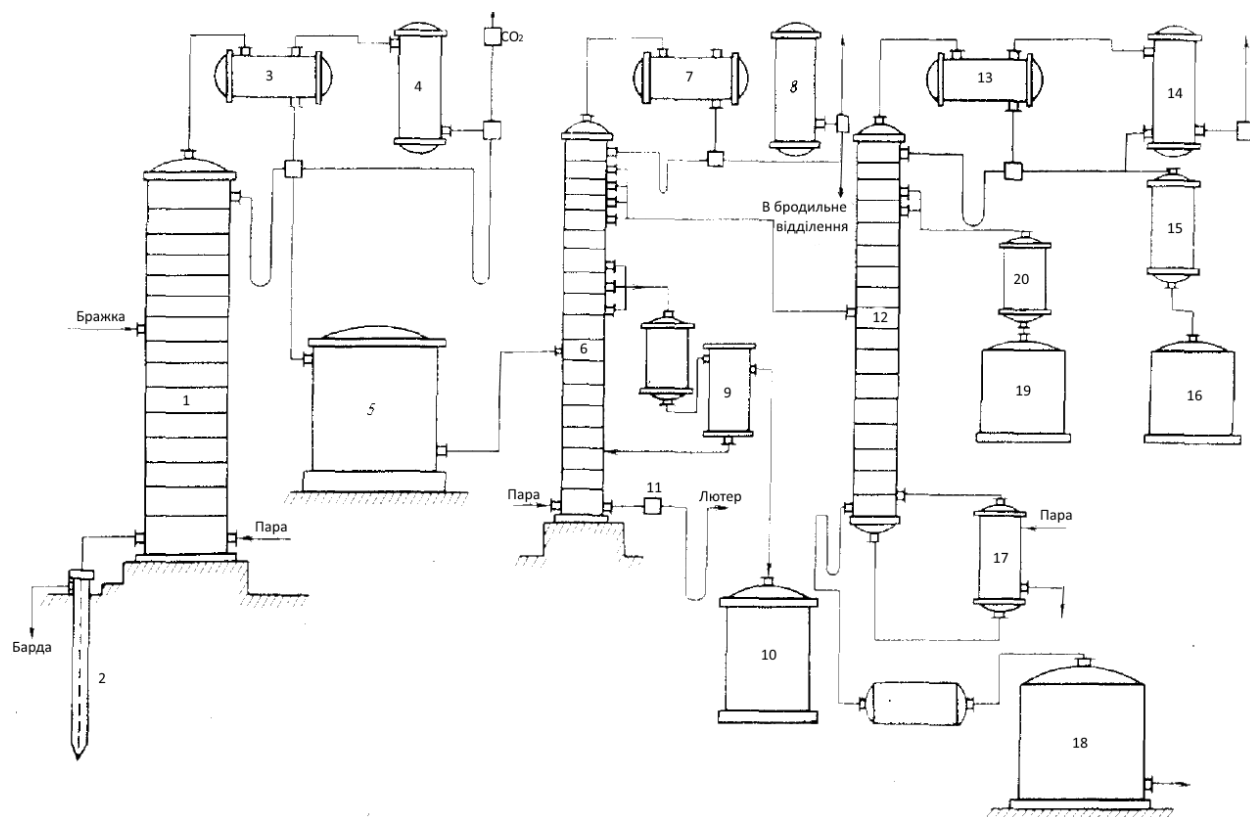


Рис. 1.5.4 Схема трьохколонної брагоректифікаційної установки [32]:

1 – бражна колона; 2 – бардяний затвор; 3 – дефлегматор; 4 – контрольний холодильник; 5 – проміжний збірник; 6 – ректифікаційна колона; 7 – дефлегматор; 8 – контрольний холодильник; 9 – відділювач сивушних масел; 10 – збірник; 11 – гідрозатвор; 12 – метанольна колона; 13 – дефлегматор; 14 – конденсатор; 15 – холодильник; 16 – збірник метанольної фракції; 17 – підігрівач; 18 – збірник готового етанолу; 19 – збірник метанолу; 20 – холодильник.

Очищення в бражній колоні. Мета стадії – відділити летку частину бражки від нелеткої. Відділена від леткої частини бражка відводиться знизу і містить хвостові домішки. В летючій частині міститься до 40% спирту і вона подається в ректифікаційну колону для подальшого очищення.

Очищення в ректифікаційній колоні. Метою стадії є отримати спирт концентрацією 94-95 % об., в якому відсутні сивушні масла, органічні кислоти та інші домішки. Для цього встановлюються ректифікаційна колона в якій спирт позбувається більшої частини води, більшості домішок, окрім метанолу, і концентрується до 94 – 95% об.. Отриманий спирт задовольняє вимоги НТД по вмісту етилового спирту, вмісту води та вмісту більшості домішок.

Очищення в метанольній колоні. Метою стадії є зменшити вміст метанолу в етиловому спирті до значення, що задовольняє вимоги НТД. Оскільки гідролізний спирт містить 0,7 – 0,8% метанолу, а його вміст не повинен перевищувати 0,5%, то встановлюється метанольна колона в якій відбувається відділення метанольної фракції від етилового спирту. На даній установці отримується етиловий спирт концентрацією 94 – 96%, звільнений від ефірів і альдегідів, а також сивушних масел.

Оскільки метанольна колона потребує для повноцінної роботи додаткове обладнання, таке як дефлегматор, холодильник, теплообмінник то пропонується розглядати їх комплексно, у одній стадії технологічного процесу.

Втрати спирту в даній установці не перевищують 4 – 5% , причому 50% цих втрат уходять з бардою [31]. Процес проводиться в безперервному режимі і використання даної установки є найбільш ефективним вибором для отримання спирту з заданими показниками.

Пропонується на проектованому підприємстві використати в ректифікаційних колонах сітчасті (решітчасті) провальні тарілки без переливних пристроїв, що в останній час отримують все більше поширення. Характерною особливістю цих тарілок є збільшений вільний переріз, завдяки чому пара і рідина проходять через одні й ті самі отвори. Вони відрізняються простотою виготовлення, здатністю самоочищуватися і

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

універсальністю застосування.

Переробка відходів. Мета стадії – забезпечити мінімальне утворення відходів на виробництві, шляхом повернення відходів, що можуть бути перероблені, в технологічний процес або отримання з них корисних продуктів в інших технологічних процесах.

Виділення фурфуролу. Метою стадії є отримання фурфуролу. Пари, що виходять з випарних апаратів містять фурфурол, тому доцільним є його виділення. Конденсат, що утворюється після надходження парів в теплообмінник безпосередньо використовують для виділення фурфуролу на спеціальних установках.

Використання барди для виробництва кормових дріжджів. Мета стадії – отримати кормові дріжджі використовуючи не зброжені в технологічному процесі цукри. В процесі зброджування спиртовими дріжджами не зброджуються пентози, тому в бражній колоні фракція, яка виводиться знизу колони і називається бардою, містить багато пентоз і її доцільно використовувати для виробництва кормових дріжджів.

Використання водорослевих залишків для виробництва кормових добавок. Мета стадії – отримати кормову водорослеву добавку що містить велику кількість білкової фракції і є потенційно корисною.

Утилізація лютерної води. Метою стадії є очищення лютерної води і повернення її у виробництво. В процесі ректифікації утворюється лютерна вода, яка майже не містить спирту, і її потрібно утилізувати. Лютерну воду можна очистити на локальних очисних спорудах і повернути у виробничий процес.

Утилізація сивушної фракції. Метою стадії є отримання сивушних масел з фракції спиртових домішок. З ректифікаційної колони відбирається велика частина домішок у вигляді сивушної фракції, яку потрібно знешкодити або більш доцільним є отримання сивушних масел.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Знешкодження відходів. Метою стадії є шляхом утилізації відходів виробництва, які не можуть бути використані в будь-якому вигляді, забезпечення екологічної безпеки виробництва,.

Отже, в даному розділі було розглянуто основні способи культивування бурих водоростей, необхідні для їх росту концентрації поживних елементів. Розглянуті основні принципи проведення стадій гідролісної технології отримання етилового спирту та обрано хіміко-ферментативний спосіб проведення гідролізу, двоступеневе випарювання в плівкових апаратах для випарювання гідролізату, безперервний спосіб проведення зброджування у двох ферментерах, для ректифікації бражки використовувати брагаторектифікаційну установку, яка складається з трьох колон та обрано решітчасті тарілки провального типу в якості контактних пристроїв ректифікаційних колон.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Сировина та матеріали

Сировина та матеріали, що використовуються на виробництві зазначені в таблиці 2.1.1.

Таблиця 2.1.1 Сировина та матеріали, що використовуються для виробництва біоетанолу

Найменування	Категорія і номер НТД згідно якого перевіряється сировина	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1. Основна сировина			
1.1. Маса бурих водоростей	-	Відсутність гниття, домішок, металів.	
1.2. Пергідроль	ГОСТ 10929-76	Кількісне визначення перекису водню 50 %	
1.3. Мінеральні солі (сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній, фосфорна кислота)	-	Відсутність домішок	
1.4. Гідролізні ферменти	ГОСТ 34440-2018	Зовнішній вигляд, без домішок, темно-коричневого кольору	
1.5. Вода питна	ДСТУ 7525:2014	Без запаху, смаку і кольору . Відсутність механічних домішок. рН 5,5 – 7,5. Загальна жорсткість менше 5 ммоль/л.	

					ЕКБ.БЕ8103.МД						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Данилюк М.Є.			Технологічна частина			Літ.	Арк.	Акрушіє	
Консул.									51	115	
				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп							
Керівн.		Левтун І.І.									
Затверд.											

2. Допоміжна сировина			
2.1. Технічна вода	ГОСТ 17.1.1.04-80	Відсутність крупних включень.	
2.2. Розчин гідроксиду натрію	ДСТУ 2263-79	Кількісний вміст гідроксиду натрію 5%	
2.4. Стиснене повітря	ДСТУ 4169-2003 Стиснене повітря. Ч. 1. Забруднювачі та класи чистоти (ISO 8573-1:2001, MOD) ДСТУ ГОСТ ИСО 8573-3:2013 Стиснене повітря. Частина 3. Методи контролювання вологості.		
3. Напівпродукти			
3.1 Бражка	-	Вміст спирту 1– 1,5% Концентрація незброджених гексоз не більше 0,1%	

2.2 Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу

Дана технологія призначена для виробництва біоетанолу з бурих водоростей об'ємом 1000 т/рік.

ДР1 Санітарна підготовка виробництва

ДР1.1 Підготовка персоналу

Перед запуском виробництва персонал проходить санітарно-медичне обстеження, інструктаж і отримує засоби індивідуального захисту.

ДР1.2 Підготовка обладнання та комунікацій

Готують дезінфікуючі розчини. Обладнання та трубопроводи миють та стерилізують. Проводять перевірку обладнання на герметичність під тиском.

ДР2 Приготування розчину пергідроля

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Через дозатор Д-1 в реактор Р-3 подають перекис водню. Вода подаються через дозатор Д-2. В реакторі об'ємом 6,3 м³, обладнаному турбінною мішалкою отримують розчин пергідроля 50%, що подається на стадії ТП7.1 насосом Н-4.

ДР3 Приготування розчину мінеральних солей та кислот

Через дозатор Д-5 в реактор Р-7 подають сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній та фосфорну кислоту. Вода подаються через дозатор Д-6. В реакторі об'ємом 6,3 м³, обладнаному турбінною мішалкою отримують розчин мінеральних солей та кислот, що подається на стадії ДР5.1.

Проводять хімічний контроль К_х – контроль концентрації мінеральних сполук: сірчаноокислого амонію 0,2 – 0,5 г/л, фосфорноокислого амонію 0,2 – 0,3 г/л і фосфорної кислоти 0,2 – 0,3 г/л .

ДР4 Підготовка пари

Пару готують у спеціальних котлах при високому тиску. Пару низького тиску 0,5 МПа подають до стадій ТП7.1, ТП10.1, ТП10.2, ТП10.3.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль К_т – тиск пари, що подається в процес повинен складати 0,5 МПа.

ДР5 Отримання товарної біомаси виробничих дріжджів

ДР5.1 Приготування поживного середовища

В реактор Р-11 через дозатор Д-10 подається поживне середовище і насосом Н-8 через дозатор Д-9 подаються мінеральні поживні речовини з стадії ДР3. Реактор об'ємом 1,6 м³ обладнаний турбінною мішалкою і секційною сорочкою. Отримане поживне середовище надходить на стадії ДР5.2 і ДР5.3 за допомогою насосів Н-12 і Н-16 відповідно.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль К_т – температури середовища в апараті – 30 °С та температури сорочки апарату, а також хімічний контроль К_х – контроль рН поживного середовища, що повинно складати близько 4,5.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ДР5.2 Культивування спиртових дріжджів

В ферментері Р-15 об'ємом 0,1 м³ з турбінною мішалкою, барботером та сорочкою відбувається вирощування чистої культури дріжджів. Через дозатор Д-13 в апарат надходить поживне середовище, також в апарат подають стиснене повітря і посівний матеріал – виробничу культуру дріжджів. Чиста культура насосом Н-17 подається в більший ферментер Р-20 на стадію ДР5.3.

На стадії проводять наступні види контроль: технологічний контроль K_T – контроль температури в сорочці і в середині апарату (30 °С), хімічний контроль K_x – контроль значення рН вмісту апарату (рН = 4,5) і мікробіологічний контроль K_{mb} – визначення кількості клітин дріжджів у пробі.

ДР5.3 Отримання товарної біомаси

В більшому ферментері Р-20 об'ємом 1 м³ обладнаному турбінною мішалкою, секційною сорочкою і барботером, відбувається культивування чистої культури до потрібної концентрації дріжджів в 80 – 100 г/л (в перерахунку на дріжджі з вологістю 75%). Чиста культура дріжджів з Р-15 насосом Н-17 через дозатор Д-19 подають у апарат, також насосом Н-16 через дозатор Д-18 надходить поживне середовище і в апарат подають стиснене повітря. Температура в апараті 30 °С і рН складає близько 4,5. Суспензія дріжджових клітин постачається у ферментер Р-42 на стадію ТП8.

На цій стадії здійснюються всі три види контролю: технологічний K_T – дотримують температуру в апараті 30 °С, контролюють температуру в сорочці та тиску в апараті, хімічний K_x – рН середовища дотримують на рівні 4,5 і мікробіологічний K_{mb} – вимірювання концентрації клітин дріжджів у суспензії.

ДР6 Підготовка сировини

ДР6.1 Очищення сировини від домішок

Сухі бурі водорості виду *Laminaria japonica* очищують до стану, коли вміст домішок в сировині не перевищує 2 – 5 г/кг. Даний параметр контролюють здійснюючи технологічний контроль K_T .

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ДР6.2 Подрібнення сировини

Сировина перед надходженням в гідролізапарат подрібнюється для досягнення оптимальних розмірів частинок, що складають 2 – 5 мм. Контроль цього параметру зумовлює технологічний контроль K_T на стадії. Підготовлена сировина подається в гідролізапарат Р-23 на стадію ТП7.1.

ТП7 Приготування поживного середовища

ТП7.1 Гідроліз сировини

Підготовлена сировина через дозатор Д-21 надходить в гідролізапарат Р-23. Гідролізапарат представляє собою вертикальний сталевий циліндр з верхніми і нижніми конусами і горловиною. Об'єм гідролізапарату складає 5 м³. Після завантаження сировини в апарат насосом Н-4 через дозатор Д-22 поступає нагрітий до 50 °С розчин пергідроля. По закінченню завантаження вміст гідролізапарату підігрівається гарячою парою, що поступає в нижній конус апарату. Як тільки буде досягнута температура 45 – 55 °С, в гідролізапарат починає поступати розчин пергідроля нагрітий до 50 °С. Реакція хімічного гідролізу триває від 30 хвилин. Після проведення хімічного гідролізу в гідролізапарат через дозатор Д-24 подається ферментативний препарат Целлолюкс-F і при температурі 45 – 55 °С проводиться ферментативний гідроліз протягом 2 – 3 годин.

Після завершення гідролізу для інактивації ферментів гідролізат нагрівається шляхом подачі гарячої пари до температури 85 °С. Процес триває 5 хвилин.

Технологічний контроль K_T полягає в контролі температури, значення якої в апараті повинно складати 45 – 55 °С і тиску всередині апарату (не повинен перевищувати 1,2 МПа), а хімічний контроль $K_{xв}$ визначенні концентрації глюкози в апараті.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ТП7.2 Охолодження гідролізату

Нейтралізатор з температурою 85 °С поступає в пластинчастий теплообмінник Т-26 за допомогою насосу Н-25. В ньому він охолоджується до температури в 30°С. Отримують поживне середовище, яке подається на стадію зброджування ТП8.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль K_T – контроль за температурою в теплообміннику, яка складає 30 °С.

ТП8 Зброджування поживного середовища

Товарну біомасу, що містить 80 – 100 г пресованих дріжджів в літрі, з реактора Р-20 через дозатор Д-27 подають неперервним потоком в ферментер Р-29, що обладнаний барботером, турбінною мішалкою і секційною сорочкою. Поживне середовище з теплообмінника Т-26 через дозатор Д-28 також подається в ферментер з розрахунком, що на кожен кубометр дріжджової суспензії поступає 8 – 10 м³ суслу. В ферментер також поступає стиснене повітря. Далі вміст ферментеру поступово перекачується насосом Н-30 через дозатор Д-31 в верхню частину першого бродильного ферментеру Р-32. Процес проводиться в анаеробних умовах при температурі 32 – 34° протягом 5 – 7 год. рН середовища повинно складати близько 4,5. Бродіння завершується в другому бродильному ферментері Р-33, де зброджуються цукри, що залишилися після першого ферментеру. Під час бродіння відбувається утворення етилового спирту і вуглекислого газу, останній утворюючи бульбашки і піднімаючись уверх сприяє переміщенню потоків рідини в ферментер створюючи перемішування.

Ферментери представляють собою реактори з секційною сорочкою, вбудованим теплообмінником об'ємом 10 м³ і не обладнанні механічним перемішуючим пристроєм. Бражка з Р-33 надходить за допомогою насоса Н-34 у безперервно працюючий сепаратор Ц-35.

На даній стадії здійснюються всі види контролю: технологічний контроль K_T має на меті контроль за температурою в апараті 32 – 34 °С та сорочці апарату, а також за тиском в апараті і витратами рідини, що поступає в кожен

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ферментер; хімічний контроль K_x полягає у підтримці значення рН на рівні 4,5; мікробіологічний контроль K_{mb} обумовлений визначенням чистоти культури і кількістю синтезованого продукту в певний період часу.

ТП9 Відділення дріжджів з бражки на сепараторі

По закінченню бродіння бражка подається в безперервно працюючий сепаратор Ц-35. Сепаратор працює при швидкості 4500 – 6000 обертів за хвилину. Продуктивність сепараторів складає 10 – 35 м³/год. Відбувається розділення рідини на два потоки: більший, не містить дріжджів і поступає в збірник бражки Зб-37 і менший, що містить дріжджі і за допомогою насоса Н-36 надходить у ферментер Р-29.

Технологічний контроль K_t полягає у вимірювання числа обертів сепаратору (4500 – 6000 об/хв.), а мікробіологічний контроль K_{mb} здійснюється для підтвердження відсутності біологічних агентів у збірнику бражки.

ТП10 Виділення етанолу на брагоректифікаційній установці

ТП10.1 Очищення в бражній колоні

Бражка зі збірника Зб-37 подається на живильну тарілку бражної колони РК-38, яка працює при атмосферному тиску. Пара подається в нижню частину колони. Стікаючи по тарілках вичерпної частини колони вниз, бражка зустрічає на своєму шляху пару, що підіймається вгору. Пара поступово збагачуючись спиртом, переходить в верхню, закріплюючу частинку колони. Стікаючи вниз бражка поступово звільняється від спирту, звільнена від спирту бражка називається бардою, яка направляється в інший цех на стадію ПВ11.2 для виробництва кормових дріжджів. Бражна колона в верхній закріплюючій частині закінчується дефлегматором Дф-39, в якому конденсуються пари водно-спиртової суміші, що поступають з верхньої тарілки колони.

В 1 м³ бражки при температурі 30 °С розчиняється близько 1 м³ вуглекислого газу, утвореного після бродіння. При нагріві бражки гострим паром в нижній частині колони розчинена вуглекислота виділяється і разом з парами спирту піднімається в закріплюючу частину колони і далі в дефлегматор Дф-39. Низькокиплячі фракції, що складаються з спирту, альдегідів і ефірів,

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

проходять через дефлегматор Дф-39 і остаточно конденсуються в холодильнику Х-40, звідки в вигляді флегми стікають назад в колону. Вуглекислий газ відділяється на скрубєрі.

На даній стадії передбачено технологічний контроль K_T — контроль за температурою (на живильній тарілці 93 – 95 °С, у нижній частині колони 103 – 106 °С) і тиском всередині колони (перепад тиску по висоті колони складає 5 – 25 кПа), а також контроль витрат бражки, що поступає в колону і хімічний контроль K_x – вимірювання концентрації спирту, яка після бражної колони повинна складати близько 40 %.

ТП10.2 Очищення в ректифікаційній колоні

Конденсат насосом Н-41 поступає на живильну тарілку ректифікаційної колони РК-42, яка працює при атмосферному тиску. Ця колона працює аналогічно бражній колоні, але на більш високих концентраціях спирту. В нижню частину колони подається гостра пара, яка поступово забирає спирт зі спиртового конденсату, що стікає вниз по колоні. Звільнена від спирту рідина називається лютером і йде на стадію ПВ11.3. Вміст спирту в лютерній воді складає не більше 0,02 %.

Над верхньою колоною ректифікаційної колони встановлюється дефлегматор Дф-43. Сконденсована в ньому пара стікає назад в колону, а частина низькокиплячих фракцій відбирається у вигляді ефіроальдегідної фракції. В середній частині колони, де міцність спирту складає 45 – 50 %, накопичуються сивушні масла, які представляють собою суміш вищих спиртів.

Етиловий спирт, звільнений від ефірів і альдегідів, а також сивушних масел, відбирається з верхніх тарілок закріплюючої частини ректифікаційної колони і поступає на живильну тарілку метанольної колони РК-44.

На даній стадії передбачено технологічний контроль K_T , що зумовлений контролем за температурою (на живильній тарілці колони 88 – 90 °С, над верхньою тарілкою 78 – 79 °С, в кубовій частині колони 104 – 105 °С) і тиском (перепад тиску по висоті колони в межах 20 – 30 кПа) в колоні, і за витратами водно-спиртової суміші, що поступає в ректифікаційну колону і хімічний

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

контроль K_x — контроль за концентрацією спирту (94 – 95 %).

ТП10.3 Очищення в метанольній колоні

Етиловий спирт концентрацією 94 – 96 % з вмістом метанолу близько 0,7 % за допомогою насосу Н-44 подається на живильну тарілку метанольної колони РК-45, що працює при атмосферному тиску. В метанольній колоні легкокиплячою фракцією є метанол, який піднімається у верхню частину колони, закріплюється в дефлегматорі Дф-46 і зливається у збірники метанольної фракції.

Етиловий спирт, стікаючи по тарілках, опускається в нижню частину метанольної колони і насосом Н-48 зливається в збірник етилового спирту Зб-49. Обігрів колони здійснюється глухою парою в виносному підігрівачі Т-47. Водяна пара, що надходить в підігрівач нагріває спирт до кипіння і утворені спиртові пари йдуть на обігрів колони.

На цій стадії передбачений технологічний контроль K_T — контроль за температурою (на живильній тарілці 80 – 81°C, над верхньою тарілкою 65 – 68 °C, в кубовій частині 82 – 84 °C) і тиском (перепад тиску по висоті колони складає 5 – 10 кПа) в колонні, а також контроль витрат етилового спирту на вході в колону і хімічний контроль K_x — визначення концентрації етилового і метилового (< 0,5 %) спиртів.

ПВ11 Переробка відходів

ПВ11.1 Виділення фурфуролу

Виділений фурфурол передається на очистку, який потім можна використовувати в хімічній промисловості.

ПВ11.2 Використання барди для виробництва кормових дріжджів

Барда, що утворюється в бражній колоні відправляється в дріжджовий цех для отримання з пентоз кормових дріжджів.

ПВ11.3 Утилізація лютерної води

Лютерна вода може підлягати очищенню на локальних очисних спорудах і використовуватись як технічна вода або скидається в каналізацію.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ПВ11.4 Утилізація сивушної фракції

Сивушну фракцію переробляють для отримання сивушного масла.

ЗВ12 Знешкодження відходів

Усі не використані або не перероблені відходи підлягають знешкодженню.

2.3 Контроль виробництва біоетанолу

Для отримання продукту належної якості, що буде задовольняти вимоги зазначені в НТД, на кожній стадії технологічного процесу здійснюють певні методи контролю. Розглянемо види контролю на кожній стадії технологічного процесу.

На стадії ДР2 приготування розчину сірчаної кислоти здійснюють два види контролю: технологічний і хімічний. В рамках технологічного контролю здійснюють контроль за температурою сірчаної кислоти, яка повинна становити 70 – 90 °С. Вимірювання температури здійснюється термометром марки ТСМ. В рамках хімічного контролю концентрація сірчаної кислоти в розчині повинна складати від 0,3 – 0,7 %. Вимірювання концентрації сірчаної кислоти здійснюється у відібраних пробах ареометром марки АОН-1, що має ціну поділку 0,1 %.

На стадії ДР3 приготування розчину мінеральних солей і кислот виконують хімічний контроль – полягає в визначенні концентрації мінеральних компонентів: сірчаноокислого амонію 0,2 – 0,5 г/л, фосфорнокислого амонію 0,2 – 0,3 г/л і фосфорної кислоти 0,2 – 0,3 г/л.

На стадії ДР5.1 приготування поживного середовища проводять технічний і хімічний контроль. Температура поживного середовища повинна складати 30 °С і вимірюється в апараті термометром марки ТСМ. Цим виконується технологічний контроль. Хімічний контроль рН середовища на рівні 4,5 за допомогою датчика рН з вимірювальним перетворювачем рН-101П. Похибка вимірювання даного приладу складає 0,01.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

На стадії ДР5.2 культивування спиртових дріжджів здійснюють технологічний, хімічний і мікробіологічний контроль. В рамках технологічного контролю підтримують температуру середовища в апараті 25 – 30 °С. Вимірювання здійснюється термометром марки ТСМ. В відібраних пробах здійснюють хімічний і мікробіологічний контроль: рН повинна складати близько 4,5, а також перевіряють чистоту культури у пробі мікроскопічно у спеціальній лабораторії.

На стадії ДР5.3 отримання товарної біомаси, як і на попередній проводять всі види контролю. Проте мікробіологічний контроль на цій стадії полягає окрім визначення чистоти культури, у визначенні концентрації клітин дріжджів в культуральній рідині і вона повинна складати 80 – 100 г/л. Визначення проводять у пробах в спеціальній лабораторії.

На стадії ДР6.1 очищення сировини від домішок проводять технологічний контроль – в сировині допускається вміст домішок не більше 2 – 5 г/кг відходів деревини.

На стадії ДР6.2 подрібнення сировини в рамках технологічного контролю розмір частинок відходів деревини доводиться до 3 – 5 мм.

На стадії ТП7.1 гідроліз сировини виконують технологічний і хімічний контроль. Температура середовища під час процесу повинна складати 160 – 190 °С і вимірюється термометром марки ТСП. Тиск у апараті не повинен перевищувати 1,6 МПа і вимірюється манометром MS-100, що має клас точності 1. У пробах з гідролізапарату визначають вміст сірчаної кислоти, концентрація її повинна бути в межах 0,3 – 0,7 %, анеметром марки АОН-1.

На стадії ТП7.2 охолодження нейтралізату здійснюється технологічний контроль. Температура гідролізату повинна бути доведена до 30 °С, даний параметр вимірюється термометром марки ТСМ.

На стадії ТП8 зброджування поживного середовища проводять всі три види контролю. Технологічний – контроль за температурою середовища, яка повинна складати 30 – 33 °С, температура вимірюється термометром марки ТСМ; тиск в апараті не повинен перевищувати допустимий і вимірювання тиску

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

здійснюється манометром марки ОБМ1-100, що має клас точності 2,5; витрати культуральної рідини, що надходить, вимірюються ротаметром LZS 1600. Хімічний – підтримання рН на рівні 4,5, рН вимірюється за допомогою датчика з перетворювачем рН-101П. Мікробіологічний – відібрані проби досліджують на наявність сторонньої мікрофлори, визначають кількість синтезованого продукту і залишок незброджених моносахаридів. Дані визначення проводять у лабораторії при використанні відповідного обладнання.

На стадії ТП9 відділення дріжджів з бражки на сепараторі технологічний контроль полягає в дотриманні швидкості обертання ротору сепаратора 4500 – 6000 об/хв, а мікробіологічний контроль проводиться з метою встановлення відсутності мікрофлори в бражці, що пройшла сепаратор.

На стадії ТП10.1 очищення в бражній колоні здійснюють технологічний і хімічний контроль. В рамках технологічного контролю проводять контроль за температурою, тиском в апараті і витратами бражки. Значення температури в апараті повинні відповідати: на живильній тарілці 93 – 95 °С, у нижній частині колони 103 – 106 °С. Температура вимірюється термометром марки ТСП. Тиск в апараті повинен бути атмосферним і різниця тисків по висоті колони повинна бути в межах 5 – 25 кПа. Тиск вимірюється манометром марки MS-100 з класом точності 1. Витрата бражки вимірюється ротаметром LZS 1600. У пробі водно-спиртової суміші визначаються вміст спирту, який повинен бути в межах 20 – 40 %. Для вимірювання концентрації спирту використовують спиртові ареометри марки АСП-1 з класом точності 0,1 %. Цим забезпечується хімічний контроль.

На стадії ТП10.2 очищення в ректифікаційній колоні виконують контроль як і в бражній при використанні однакових контрольно-вимірювальних приладів, проте параметри процесу інші. Температура на живильній тарілці колони 88 – 90 °С, над верхньою тарілкою 78 – 79 °С, в кубовій частині колони 104 – 105 °С. Допустима різниця тисків по висоті колони 20 – 30 кПа.

Концентрація спирту повинна складати не менше 94 % об..

На стадії ТП10.3 очищення в метанольній колоні проводиться

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

аналогічний попереднім колонам контроль. Температура в колоні на живильній тарілці 80 – 81 °С, над верхньою тарілкою 65 – 68 °С, в кубовій частині 82 – 84 °С. Різниця тисків по висоті колоні допускається 5 – 10 кПа. Концентрації метанолу і етанолу визначаються спиртовими ареометрами АСП-1 і мають бути менше 0,5 % і не менше 94 % відповідно.

При здійсненні даного контролю здійснення технологічного процесу перебігатиме без ускладнень, а якість продукту виробництва буде відповідати вимогам НТД. У таблиці 2.3.1 наведені параметри контролю.

Табл. 2.3.1 Параметри контролю на виробництві

№	Найменування стадії процесу	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
1	Приготування розчину пергідроля	Температура	Постійно	40 – 60 °С	Термометр ТСМ
		Концентрація пергідроля	Постійно	45 – 55 %	Ареометр АОН-1
2	Приготування ферментативного розчину	Концентрації кожного компоненту	Кінцевий	Згідно технічного регламенту	Хімічні методи кількісного визначення
3	Приготування розчину мінеральних солей і кислот	Концентрації кожного компоненту	Кінцевий	Згідно технічного регламенту	Хімічні методи кількісного визначення

4	Приготування поживного середовища	Температура рН	Постійно Постійно	30±2 °С 4,5±0,1	Термометр рН-101П
5	Культивування спиртових дріжджів	Температура рН М/б чистота	Постійно Постійно 1 год	30±2 °С 4,5±0,1 Відсутність сторонньої мікрофлори	Термометр рН-101П
6	Отримання товарної біомаси	Температура рН М/б чистота Концентрація дріжджів	Постійно Постійно 1 год Кінцевий	30±2 °С 4,5±0,1 Відсутність сторонньої мікрофлори 80-100 г/л	Термометр рН-101П
7	Очищення сировини	Кількість домішок	Кінцевий	2-5 г/кг	
8	Хімічний гідроліз сировини	Температура Тиск Концентрація пергідроля	Постійно Постійно Постійно	50 – 55 °С Не більше 1,6 МПа 0,2 %	Термометр Манометр MS-100 Ареометр АОН-1
9	Ферментативний гідроліз	Температура рН	Постійно Постійно	50 – 55 °С 5,0	Термометр рН-101П
10	Випарювання гідролізату	Тиск	Постійно	0,6 – 0,8 МПа у першому і 1 МПа у другому апараті	Манометри MS-100

11	Нейтралізація гідролізату	pH	Кінцевий	4,6 – 5,2	pH-101П
12	Охолодження нейтралізату	Температура	Постійно	30 ±4 °С	Термометр
13	Зброджування поживного середовища	Температура pH Тиск М/б чистота Кількість спирту Залишок незброджених гекзос	Постійно Постійно Постійно 1 год 1 год 2 год	30 - 33 °С 4,5±0,1 1,1 ± 0,1 МПА Відсутність сторонньої мікрофлори Не менше 1 % Не більше 1,5 %	Термометр pH-101П ОБМІ-100
14	Відділення дріжджів з бражки	Швидкість обертів М/б чистота	Постійно Кінцевий	4500 – 6000 об/хв Відсутність мікрофлори в бражці	Сепаратор
15	Очищення в бражній колоні	Температура: живильна тарілка нижня частина; Тиск Витрата бражки	Постійно Постійно Постійно	93 – 95 °С 103 – 106 °С Різниця тисків по висоті 5 – 25 кПа Згідно регламенту	Термометр ТСП Манометр Ротаметр LZS 1600

Арк.

ЕКБ.БЕ8103.МД

65

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

		Концентрація спирту	30 хв	20 – 40 %	
16	Очищення в ректифікаційній колоні	Температура: живильна тарілка над верхньою тарілкою в кубовій частині Концентрація спирту	Постійно 30 хв	88 – 90 °С 78 – 79 °С 104 105 °С Не менше 94 % об.	Термометр
17	Очищення в метанольній колоні	Температура: живильна тарілка над верхньою тарілкою в кубовій частині Тиск Концентрація метанолу етанолу	Постійно Постійно 30 хв 30 хв	80 – 81 °С 65 – 68 °С 82 – 84 °С Різниця тисків по висоті колони 5 – 10 кПа Менше 0,5 % Не менше 94 %	Термометр Манометр

2.4 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс складений на 10 л біоетанолу і наведений у табл.

2.4.1.

Таблиця 2.4.1 Матеріальний баланс процесу виробництва біоетанолу

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість	Стадія	Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та втрат	Кількість
		кг			кг
Стадія гідролізу	Сухі водорості	60	Стадія гідролізу	Гідролізат	750
	Пергідроль	3		Втрати	52,5
	Суміш ферментів	1			
	Вода	740			
Стадія отримання поживного середовища	Гідролізат	750	Стадія отримання поживного середовища	Поживне середовище	562,5
	Мінеральні солі	0,61		Конденсат	133,6
				Втрати	54,5
Стадія зброджування	Поживне середовище	562,5	Стадія зброджування	Бражка	509,5
	Біомаса дріжджів	45,6		Вуглекислий газ	3,04
				Клітини дріжджів	27,1
				Втрати	68,46

Стадія ректи- фікації	Бражка	509,5	Стадія ректифіка- ції	Барда	811,1
	Гостра пара	1528,5		Вуглекислий газ	1,42
				Лютерна вода	1216,6
				Сивушні масла	0,14
				Метанол	0,07
				Біоетанол	8,15
				Втрати	0,52
Всього:		4199,21	Всього:		4199,21

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ПІДБІР І РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ

3.1 Підбір обладнання

Щоб досягнути очікуваного виробітку продукції на рік ($P_p=1000$ т біоетанолу) в день треба виробляти:

$$m_{\text{сп.доб}} = \frac{m_{\text{сп.р}}}{365} = \frac{1000}{365} = 2,74 \text{ т/добу},$$

де $m_{\text{сп.доб}}$ – маса спирту, яку необхідно виготовити за добу.

Враховуючи, що бражка перед надходженням в брагоректифікаційну колону має концентрацію спирту $c_{\text{сп}}=1,5\%$ то її кількість для досягнення денного виробітку повинна складати не менше:

$$m_{\text{бр.доб.}} = \frac{m_{\text{сп.доб}}}{c_{\text{сп}}} = \frac{2,74}{0,015} = 182,6 \text{ т/добу, або } m_{\text{бр.доб.}} = 7,6 \text{ т/год}$$

де $m_{\text{бр.доб.}}$ – маса бражки за добу

Враховуючи питому швидкість росту дріжджів ($f= 0,37 \text{ год}^{-1}$) для реактору з об'ємом $V_p=10 \text{ м}^3$ – швидкість потоку u складе:

$$u = V_p \cdot f = 10 \cdot 0,37 = 3,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

Приймаємо густину середовища, що містить посівний матеріал $\rho = 1068 \text{ кг/м}^3$, тоді швидкість потоку u відповідає $3,95 \text{ т/год}$. Цього недостатньо для досягнення проектованої продуктивності, тому встановлюється друга батарея реакторів для зброджування, які працюють одночасно, що забезпечить потрібну денну продуктивність. Для забезпечення ефективної роботи цих реакторів, потрібно подавати кількість гідролізату, що буде відповідати розрахованій швидкості потоку.

З 1 т абсолютно сухої сировини утворюється 16 т гідролізату. При випарюванні гідролізату кількість гідролізату зменшується на близько 10 %:

$$16 \cdot 0,9 = 14,4 \text{ т}$$

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Підбір і розрахунок обладнання	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.					68	115
Консул.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.								

Отже з 1 т сировини отримуємо 14,4 т гідролізату. При додаванні поживних солей (1 кг на 1 т гідролізату) та інокуляту (100 кг на 1 т) отримаємо:

$$14400 + (100 + 1) \cdot 14,4 = 15800 \text{ кг},$$

Отже маємо 15,8 т культуральної рідини, що готова до зброджування. Потрібно забезпечити надходження не менше 7,6 т культуральної рідини на годину:

$$7,6 / 15,8 = 0,48 \text{ т}$$

Отже, для цього потрібно 0,48 т сировини. Для гідролізу такої кількості бурих водоростей пропонується використати два гідролізних апарати об'ємом 5 м³ і коефіцієнтом заповнення 0,5, що зможуть зброджувати по 250 кг, що буде достатньо для забезпечення ферментерів культуральною рідиною.

3.2 Конструктивний розрахунок апарата для гідролізу

Номінальний об'єм апарату для гідролізу складає 5 м³. Для реакторів об'ємом 5 м³ стандартний діаметр складає 1800 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

$$h_{ел} = 0,25D_{вн} = 0,25 \cdot 1,8 = 0,45 \text{ м}.$$

Решту конструктивних розмірів днища знайдемо з ГОСТ 6533-78:

- $h_1 = 60 \text{ мм}$ – висота основи еліптичного днища;
- $F_{внд} = 3,85 \text{ м}^2$ – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{дн} = 0,91 \text{ м}^3$ – об'єм еліптичного днища;
- $\delta_d = 18 \text{ мм}$ – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{дн} = h_1 + h_{ел} = 0,06 + 0,45 = 0,51 \text{ м}.$$

Об'єм циліндричної частини апарату:

$$V_{ц} = V_n - 2V_{дн} = 5 - 2 \cdot 0,91 = 3,18 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини апарату:

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 3,18}{3,14 \cdot 1,8^2} = 1,25 \text{ м.}$$

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{\text{рц}} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 3,18}{3,14 \cdot 1,8^2} = 0,62 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в апараті:

$$H_{\text{р}} = H_{\text{рц}} + h_{\text{он}} = 0,62 + 0,51 = 1,13 \text{ м.}$$

Загальна висота апарату без штуцерів, без опор складає:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{он}} = 1,25 + 2 \cdot 0,51 = 2,27 \text{ м.}$$

3.3 Розрахунок інокулятора

Номінальний об'єм реактора де змішується поживне середовище з дріжджами складає 6,3 м³. Коефіцієнт заповнення інокулятора складає 0,7.

Для реактору об'ємом 6,3 м³ стандартний діаметр складає 1800 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

- $h_{\text{н}} = 450 \text{ мм}$ – висота еліптичного днища;
- $h_{\text{л}} = 60 \text{ мм}$ – висота основи еліптичного днища;
- $F_{\text{внд}} = 3,85 \text{ м}^2$ – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{\text{он}} = 0,91 \text{ м}^3$ – об'єм еліптичного днища;
- $\delta_{\text{д}} = 22 \text{ мм}$ – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{\text{он}} = h_{\text{л}} + h_{\text{н}} = 0,06 + 0,45 = 0,51 \text{ м.}$$

Об'єм циліндричної частини реактора:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{н}} - 2V_{\text{он}} = 6,3 - 2 \cdot 0,91 = 4,48 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини реактора:

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 4,48}{3,14 \cdot 1,8^2} = 1,76 \text{ м.}$$

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{pc} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 4,48}{3,14 \cdot 1,8^2} = 1,23 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в реакторі:

$$H_p = H_{pc} + h_{\text{он}} = 1,23 + 0,51 = 1,74 \text{ м.}$$

Загальна висота реактору без штуцерів, без опор складає:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{он}} = 1,76 + 2 \cdot 0,51 = 2,78 \text{ м.}$$

Оскільки, на цій стадії виробництво спирту не є бажаним, то реактор обладнаний мішалкою і барботером для запобігання спиртовому бродінню.

3.3.1 Розрахунок перемішуючого пристрою інокулятора

В якості пристрою для перемішування культуральної рідини в реакторі приймемо турбінну мішалку, схема якої зображена на рис. 3.3.1.1.

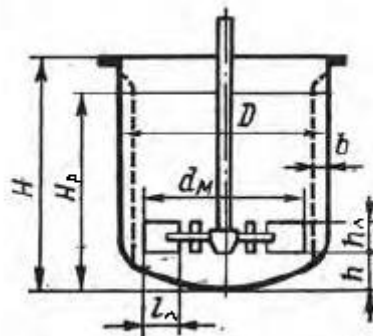


Рис. 3.3.1.1 Схема турбінної мішалки [28].

Діаметр турбінної мішалки визначається з формули:

$$d_m = (0,2 - 0,3)D = (0,2 - 0,3) \cdot 1800 = 450 - 600 \text{ мм.}$$

Приймемо стандартну турбінну мішалку діаметром 600 мм.

Розрахуємо розміри мішалки:

$$h_n = 0,2 \cdot d_m = 0,2 \cdot 600 = 120 \text{ мм.}$$

$$l_n = 0,25 \cdot d_m = 0,25 \cdot 600 = 150 \text{ мм.}$$

Висота від днища до мішалки:

$$h = 0,5 \cdot d_m = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ мм.}$$

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Критерій опору:

$$\zeta_M=8,4.$$

Кутова швидкість турбінних мішалок при динамічній в'язкості середовища менше 10 Па·с складає від 2,5 до 10 м/с. Прийmemo кутову швидкість $\omega = 6$ м/с.

Розрахуємо частоту обертання мішалки:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_M} = \frac{6}{3,14 \cdot 0,9} = 2,13 \text{ с}^{-1}.$$

Прийmemo стандартне значення частоти обертання мішалки $n = 4 \text{ с}^{-1}$ і розрахуємо відповідну кутову швидкість:

$$\omega = \pi \cdot d_M \cdot n = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 2 = 3,76 \text{ м/с}.$$

Для визначення необхідності встановлення відбиваючих перегородок розрахуємо глибину воронки:

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{n \cdot d_M^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{4 \cdot 0,9^2 \cdot 1070}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 102,72 \cdot 10^4$$

де ρ_p – густина культуральної рідини в реакторі; μ_p – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Параметр Γ :

$$\Gamma = \frac{8 \cdot H_p}{D} + 1 = \frac{8 \cdot 1,74}{1,8} + 1 = 7,73 ,$$

де H_p – висота рідини в апараті; D – діаметр апарату.

Параметр E :

$$E = \frac{\Gamma}{\zeta_M \cdot z \cdot Re^{0,25}} = \frac{7,73}{8,4 \cdot 3 \cdot (102,72 \cdot 10^4)^{0,25}} = 0,0096 ,$$

де ζ_M – критерій опору; z – кількість мішалок на валу (3).

Глибина воронки в реакторі без відбиваючих перегородок:

$$h_g = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_M^2}{2} = \frac{2,5 \cdot 2^2 \cdot 0,9^2}{2} = 1,8 \text{ м},$$

де B – параметр, значення якого визначається з номограми (рис. 3.3.1.2) в залежності від E і типу мішалки.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

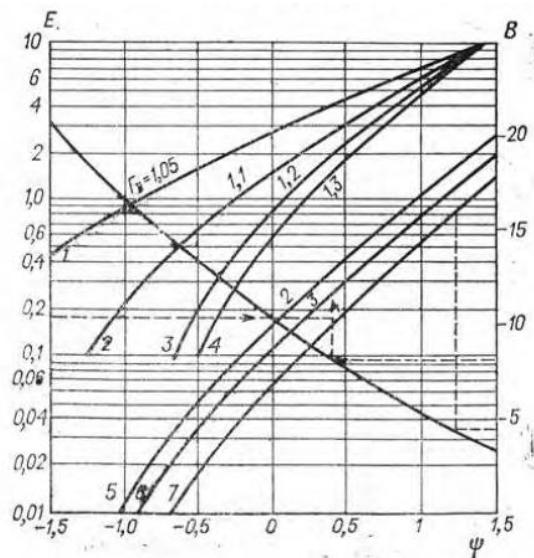


Рис. 3.3.1.2 Номограма до розрахунку глибини воронки [28]:

1,2,3,4 – мішалки якорні і рамні; 5,6,7 – турбінні, трьох і двухлопастні

Гранично допустима глибина воронки:

$$h_{\text{дон}} = H_p - h = 1,74 - 0,3 = 1,44 \text{ м.}$$

Так як глибина воронки вище допустимого значення необхідне встановлення відбиваючих перегородок. Розрахуємо ширину перегородки:

$$b = 0,1 \cdot d_m = 0,1 \cdot 600 = 60 \text{ мм.}$$

3.3.2 Розрахунок барботеру

Діаметр на якому розміщені отвори в барботері:

$$D_o = (0,75 - 1) \cdot d_m = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ мм.}$$

Відстань від мішалки до барботеру:

$$h_z = 0,25 \cdot d_m = 0,25 \cdot 600 = 150 \text{ мм.}$$

Визначимо витрати повітря V_z в інокуляторі. Витрати повітря повинні бути такими, щоб метаболізм дріжджів був пригнічений і дріжджі мінімально споживали субстрат. Згідно рекомендацій, на 1 одиницю об'єму культуральної рідини за 1 хв витрачається 0,5 одиниць об'єму повітря [6]. Отже, на робочий

об'єм $4,41 \text{ м}^3$ витрати повітря складають $2,2 \text{ м}^3/\text{хв} = 132 \text{ м}^3/\text{год.}$

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Швидкість газу в отворах W_o приймемо 40 м/с, тоді внутрішній діаметр барботеру:

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_z}{W_o \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 132}{40 \cdot 3600 \cdot 3,14}} = 0,034 \text{ м.}$$

Умова $D_o = 8d_{\text{вн}}$ виконується, тому приймемо стандартну трубу 52/60 мм.

Розрахуємо кількість отворів в барботері:

$$z = \frac{4 \cdot V_z}{W_o \cdot \pi \cdot d_o^2} = \frac{4 \cdot 132}{40 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2} = 46,8,$$

де d_o – діаметр газорозподільних пристроїв (5 мм).

Кількість отворів в 1 ряду:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot D_o}{t} = \frac{3,14 \cdot 360}{25} = 45,2,$$

де t – крок між отворами, приймемо 25 мм.

Кількість рядів:

$$n = \frac{z}{z_1} = \frac{46,8}{45,2} = 1,035 \approx 1.$$

3.3.3 Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування

Потужність приводу перемішуючого пристрою розраховується за формулою [28]:

$$N_{\text{ел}} = \frac{K_n \cdot K_{\text{н}} \cdot \sum K_i \cdot N + N_{\text{ущ}}}{\eta},$$

де K_n – коефіцієнт, що вказує на присутність в апараті відбиваючих перегородок $K_n = 1$; $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт рівня рідини в апараті; K_i – коефіцієнт, що враховує наявність в апараті внутрішніх пристроїв ($K_i = 1,1$); N – потужність, що витрачається на перемішування; $N_{\text{ущ}}$ – потужність, що витрачається на подолання тертя ущільнення валу мішалки; η – ККД двигуна (0,85..0,9).

Для визначення потужності, що витрачається на перемішування необхідно визначити коефіцієнт K_n , який визначається в залежності від значення коефіцієнта Рейнольдса:

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$Re = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{2 \cdot 0,6^2 \cdot 1070}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 102,72 \cdot 10^4.$$

При даному значенні Re коефіцієнт K_n для турбінної мішалки дорівнює 7 [29].

Розрахуємо потужність, що витрачається на перемішування:

$$N = K_n \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 7 \cdot 1070 \cdot 2^3 \cdot 0,6^5 = 4659,37 \text{ Вт.}$$

Враховуючи, що через рідину подають повітря, то потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші визначається за формулою:

$$N_{zp} = N \cdot (1 - \varphi),$$

де φ – газовміст системи.

Газовміст визначається за формулою:

$$\varphi = \left(\frac{W_z \cdot \rho_z}{U_n} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma_p^{0,6}} \cdot \left(\frac{W_z}{U_n} \right)^{0,5}.$$

Проведемо розрахунки необхідних складових формули:

$$W_z = \frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 132}{3,14 \cdot 1,8^2 \cdot 3600} = 0,014 \text{ м/с;}$$

густина газу:

$$\rho_z = 1,29 \frac{273}{t_p + 273} = 1,29 \frac{273}{24 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3;$$

швидкість спливання пухирців газу:

$$U_n = 1,5 \cdot \left(\frac{\sigma_p \cdot g \cdot \Delta \rho}{\rho_p^2} \right)^{0,25} = 1,5 \cdot \left(\frac{0,06 \cdot 9,8 \cdot (1070 - 1,19)}{1070^2} \right)^{0,25} = 0,23 \text{ м/с;}$$

$$\varepsilon_m = \frac{N}{V_p} = \frac{4659,37}{4,4} = 1058,94 \text{ Вт/м}^3.$$

Підставивши отримані значення в формулу для газовмісту отримаємо:

$$\phi = \left(\frac{0,014 \cdot 1,19}{0,23} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{1058,94^{0,4} \cdot 1070^{0,2}}{0,06^{0,6}} \left(\frac{0,014}{0,23} \right)^{0,5} = 0,287.$$

Визначимо потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші:

$$N_{zp} = 4659,37(1 - 0,287) = 3322,13 \text{ Вт.}$$

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Коефіцієнт рівня рідини в апараті визначається з формули:

$$K_n = \left(\frac{H_3}{D} \right)^{0,5} = \left(\frac{1,73}{1,8} \right)^{0,5} = 0,96.$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в торцевому ущільненні розраховують по формулі:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d_d^{1,3},$$

де d_d – діаметр валу мішалки. Прийmemo вал діаметром 100 мм.

Тоді

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot 0,1^{1,3} = 301,71 \text{ Вт.}$$

Отже, потужність приводу перемішуючого пристрою:

$$N_{\text{ел}} = \frac{1 \cdot 0,96 \cdot 1,1 \cdot 4659,37 + 301,71}{0,9} = 4264,63 \text{ Вт.}$$

3.4 Конструктивний розрахунок ферментеру для зброджування гідролізату бурих водоростей

Номінальний об'єм ферментерів для зброджування поживного середовища, що використовуються в даній технології, складає 10 м^3 . Так як середовище в апараті не піниться, то прийmemo коефіцієнт заповнення $K_3 = 0,7$.

Для реакторів об'ємом 10 м^3 стандартний діаметр складає 2200 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

- $h_n = 550 \text{ мм}$ – висота еліптичного днища;
- $h_l = 60 \text{ мм}$ – висота основи еліптичного днища;
- $F_{\text{внд}} = 5,66 \text{ м}^2$ – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{\text{дн}} = 1,61 \text{ м}^3$ – об'єм еліптичного днища;
- $\delta_d = 22 \text{ мм}$ – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{\text{дн}} = h_l + h_n = 0,06 + 0,55 = 0,61 \text{ м.}$$

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Об'єм циліндричної частини реактора:

$$V_{\text{ц}} = V_n - 2V_{\text{дон}} = 10 - 2 \cdot 1,61 = 6,78 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини реактора:

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 6,78}{3,14 \cdot 2,2^2} = 1,78 \text{ м.}$$

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{\text{рц}} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 6,78}{3,14 \cdot 2,2^2} = 1,24 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в реакторі:

$$H_{\text{р}} = H_{\text{рц}} + h_{\text{дон}} = 1,24 + 0,61 = 1,85 \text{ м.}$$

Загальна висота апарату без штуцерів, без опор складає:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{дон}} = 1,78 + 2 \cdot 0,61 = 3 \text{ м.}$$

Оскільки реактор не обладнаний механічним перемішуючим пристроєм і не проводиться барботування середовища, то розрахунок мішалки, барботера не проводиться.

3.5 Розрахунок діаметру штуцерів

В проекті ферментера передбачені зовнішній та внутрішній теплообмінники. За умови що продуктивність насоса складає 6 м³/год, мінімальним внутрішнім діаметром штуцерів буде:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0166}{4,13 \cdot 2,5}} = 0,08 \text{ м.}$$

d – розрахунковий внутрішній діаметр штуцера;

V – об'ємна витрата води;

w – середня допустима швидкість потоку води.

Отже мінімальний діаметр штуцерів для проходження теплоносія складає 80 мм. Відповідно до цього значення обираємо штуцери для зовнішнього теплообмінника 80 мм, та для внутрішнього 120 мм.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

3.6 Вибір загальнозаводського обладнання

Для забезпечення необхідної швидкості потоку на виробництві використовуються горизонтальні, відцентрові, консольні насоси ЦНБК 6/30 з робочим колесом закритого типу. Максимальна продуктивність насосів складає 6 м³/год, що дозволить регулювати швидкість потоків рідини на виробництві в необхідних межах. Габаритні розміри насосу: 529/277/190 мм, а маса становить 40 кг.

У технології використовуються дозатори об'ємно-вагові ДОП-ВР 5000, які дозволяють з достатньою точністю виконувати завантаження обладнання.

Для перекачування мінеральних кислот та солей використовується горизонтальний відцентровий насос МВ 110 з робочим колесом відкритого типу. Що має максимальну продуктивність 20 м³/год. Габаритні розміри насосу: 529/277/190 мм і масу 40 кг.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З БУРИХ ВОДОРОСТЕЙ

Автоматизація стадії зброджування сприяє підвищенню надійності і ефективності роботи ферментерів за рахунок контролю параметрів процесу бродіння стану обладнання, підвищенню безпеки роботи з обладнанням і скороченню експлуатаційних витрат.

Автоматизація показана на кресленні (формат А1) згідно з позначеннями технологічної та апаратурної схем стадії зброджування на виробництві біоетанолу з бурих водоростей.

4.1 Опис технологічного процесу на стадії зброджування

Процес бродіння проводиться в двох послідовно встановлених ферментерах, що обладнані секційною сорочкою в безперервному режимі (рис. 4.1.1.) В першу чергу з попередньої стадії в перший ферментер подається поживне середовище з відповідною концентрацією дріжджових клітин. Процес бродіння проводять при температурі 32 – 34 °С в анаеробних умовах і при рН приблизно 4,5. Ферментери без механічних перемішуючих пристроїв, оскільки перемішування відбувається за рахунок вуглекислого газу, що виділяється дріжджами в процесі ферментації. В перший ферментер постійно подається свіже поживне середовище, а культуральна рідина переходить в наступний ферментер, де відбувається зброджування цукрів, що залишились. Після завершення процесу бродіння, культуральна рідина з другого ферментеру поступає на сепаратори, де відбувається відділення бражки від клітин дріжджів.

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація процесу зброджування	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.					79	115
Консул.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.								

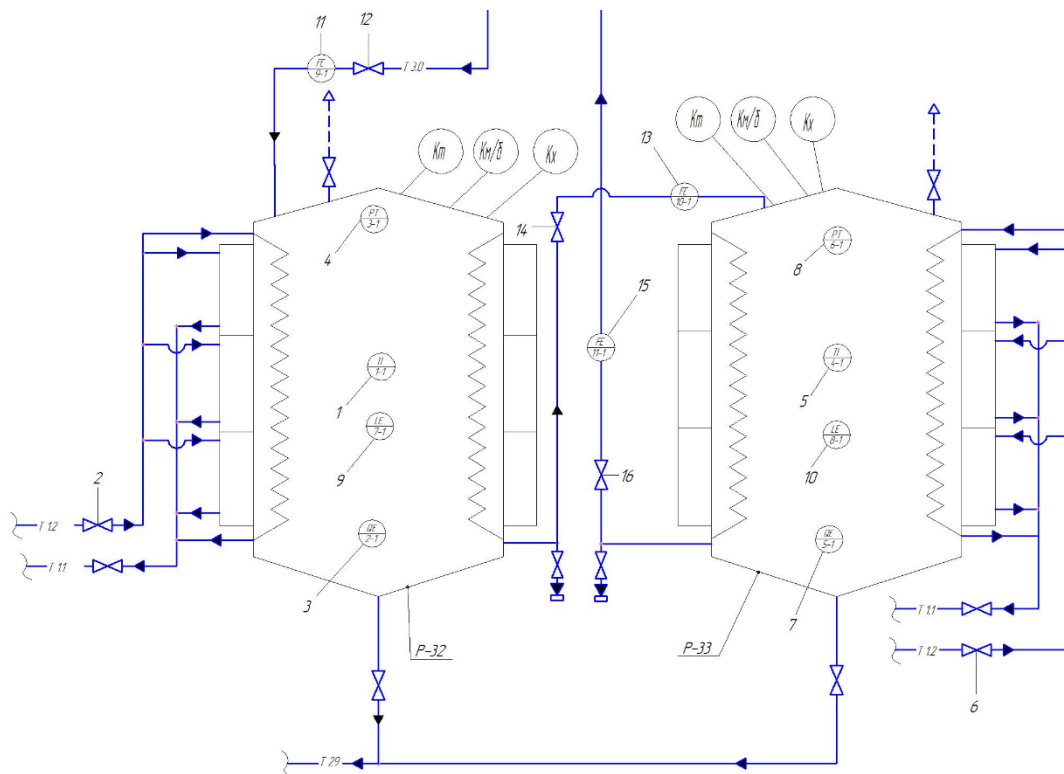


Рис.4.1.1 Ферментери на стадії зброджування

Для забезпечення правильної роботи ферментерів та процесу бродіння необхідно контролювати відповідні параметри, так як вони безпосередньо впливають на кількість отриманого продукту. В ферментері необхідно підтримувати оптимальні умови – рН і температуру, оскільки їх зміна призведе до змін і в процесі, що ведуть до втрати продуктивності.

Щоб усунути можливість потрапляння кисню в апарат Ферментер повинен бути герметичним, оскільки процес бродіння відбувається в анаеробних умовах. Також в ферментері підтримується тиск трохи вищий за атмосферний. Спостереження за тиском в апараті дає змогу вчасно помітити можливі відхилення, такі як проблеми з відводом газів або розгерметизація.

Свіже поживне середовище постійно надходить в ферментер та відводиться культуральна рідина. Для забезпечення відповідності швидкості потоку до питомої швидкості росту дріжджів їх витрати повинні регулюватися. Потрібно слідкувати в ферментері за значенням рівня рідини. Автоматична система регулювання налаштована так, щоб у разі витрати рідини

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

або зміни рівня сигнал про зміну отримає відповідний виконавчий пристрій та, відповідно, подається більше чи менше рідини у відповідний ферментер.

В системі, відображаються та реєструються на щиті керування необхідні параметри процесу очищення. Якщо система працює нормально на щиті горять зелені сигнали, а при аварійних ситуаціях або критичних значеннях параметрів загораються червоні сигнальні ліхтарі.

4.2 Основні рішення по автоматизації

4.2.1 Технологічний контроль

Технологічному контролю підлягають:

- рН культуральної рідини вимірюється в ферментерах за допомогою рН-метра рН-150 МП (поз. 2-1, 5-1). За допомогою П-201 перетворювача електричних сигналів (поз 2-2, 5-2) передається сигнал на реєструючий прилад РМТ-49Д (поз. 2-3, 5-3).
- температура в ферментерах вимірюється за допомогою термоперетворювачів опору ТСМ-1088 (поз. 1-1, 4-1), для реєстрації та виведення значення температури культуральної рідини використовується реєстратор РМТ-49Д (поз. 1-2, 4-2). Регулятор МІК-21 (поз. 1-3, 4-3) виміряну температуру зрівнює з потрібною температурою, яку задає контрольний пристрій ЗУ-50 (поз. 1-4, 4-4). Якщо необхідно сигнал передається на виконуючий пристрій – пускач безконтактний реверсивний ПБР-3 (поз. 1-5, 4-5), який регулює подачу охолодженої води в сорочку ферментера.
- тиск вимірюється в ферментерах за допомогою манометра МЦ-1-10 (поз. 3-1, 6-1), а результат виводиться на панелі за допомогою МТС-711(поз. 3-2, 6-2);
- за допомогою рівнеміра УБ-ПА (поз. 4-1, 7-1) і блоку управління та індикації УРМ-10А-2 (поз. 7-2, 8-2) вимірюється рівень рідини в ферментері.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

- витрата поживного середовища вимірюється у вхідному трубопроводі, культуральної рідини у з'єднуючому трубопроводі та вихідному трубопроводі за допомогою камерної діафрагми ДКС-50 (поз. 9-1, 10-1, 11-1), вимірювальних тензоперетворювачів «Сапфир-22ДД», мод.2450 (поз. 9-2, 10-2 11-2) та реєструється за допомогою мікропроцесорних реєстраторів РМТ-39АМ/6 (поз. 9-3, 10-3, 11-3), при невідповідності витрат сигнал передається на виконуючий пристрій ПБР-3 (поз. 9-4, 10-4, 11-4), що контролює витрату рідини.

4.2.2 Автоматичне регулювання

Автоматичною системою регулюються наступні параметри:

- витрата ПС, що надходить у перший ферментер та культуральної рідини в трубопроводах між ферментерами та на виході з другого ферментера завдяки пускачу безконтактному реверсивному ПБР-3 (поз. 9.4, 10.4, 11.4).
- за допомогою пускача безконтактного реверсивного ПБР-3 (поз. 1-5, 4-5) температура середовища в ферментерах;

4.2.3 Сигналізація та захист

Сигналізуються такі події:

- відхилення температури поживного середовища від необхідного значення (HL1, HL 7);
- відхилення від оптимального значення рН (HL 3, HL 9);
- значна зміна тиску в ферментерах (HL 5, HL 11);
- в ферментерах відхилення від критичних значень рівня середовища (HL 13, HL 15);

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

- відхилення від оптимального значення витрат середовища (HL 17, HL 19, HL 2).

4.2.4 Специфікація засобів автоматизації

Специфікація засобів автоматизації приведена в таблиці 4.2.4.1.

Табл. 4.2.4.1 Специфікація засобів автоматизації

№ позиції за схемою	шифр	Найменування параметру, середовища та місце відбору сигналу	Граничне значення параметру	Місце установки	Найменування, характеристика	Тип моделі	Число по проекту	Потрібно фактично
1-1, 4-1	ТІ	темпера тура	32- 34	По місцю	Термоперетворювач опору	ТСМ- 1088	2	2
1-2, 4-2	ТІРА	-	-	На щиті	Електричний показувальний і реєструвальний прилад	РМТ-49Д	2	2
1-3, 4-3	ТС	-		На щиті	Мікропроцесорний регулятор, що забезпечує цифрову індикацію та сигналізацію, реалізує дво- та трипозиційне регулювання	МІК-21	2	2

1-4, 4-4	H	-		На щиті	Задавальний пристрій з цифровою індикацією	ЗУ-50	2	2
1-5, 4-5, 9-4, 10-4, 11-4	NS	-	-	На щиті	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-3	5	5
2-1, 5-1	QE	pH	4,3- 4,7	По місцю	pH-метр	pH-150M	2	2
2-2, 5-2	QT	-	-	По місцю	Перетворювач електричних сигналів	П-201	2	2
2-3, 5-3	QIRA	-	-	На щиті	Електричний показувальний і реєструвальний прилад	PMT-49Д	2	2
3-1, 6-1	PT	тиск	0,9- 1,2 атм	По місцю	Манометр з електропередачею	МЦ-1-10	2	2
3-2, 6-2	PRA			На щиті	Записуючий манометр	МТС-711	2	2
7-1, 8-1	LE	рівень рідини	-	По місцю	Рівнемір	УБ-ПА	2	2
7-2, 8-2	LIA	-		На щиті	Блок управління та індикації	УРМ- 10А-2	2	2

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9-1, 10-1, 11-1	FE	Витрати рідини	-	На щиті	Камерна діафрагма	ДКС-50	3	3
9-2, 10-2, 11-2	FT			По місцю	вимірювальний тензоперетворювач	«Сапфир- 22ДД», мод.2450	3	3
9-3, 10-3, 11-3	FICA	-	-	На щиті	Показуючий регулюючий прилад	мікропро цесорних реєстрато рів PMT- 39AM/6	3	3

Висновок

Представлена система автоматизації з високою ефективністю і надійністю дозволяє контролювати та проводити процес бродіння в ферментерах. Такі важливі параметри як витрати середовища і температура автоматично регулюються, забезпечуючи тим самим оптимальні параметри для отримання максимального виходу продукту. Автоматизація розроблена так, щоб при відхиленні параметрів за відповідні межі система сповістить оператора, що дозволить зреагувати миттєво і забезпечити оптимальні параметри бродіння. Автоматизація забезпечує оперативну обробку та зберігання даних, представлення їх у найбільш доступному вигляді на всіх необхідних рівнях, що в свою чергу підвищує ефективність виробництва.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Техніко-економічне обґрунтування

Окрім виробництва біоетанолу з бурих водоростей можна, також, добувати інші корисні продукти, такі як: солі альгінової кислоти, маніт та кормові добавки. Солі альгінової кислоти, такі як альгінат кальцію або натрію використовують у харчовій промисловості у якості емульгаторів та згущувачів. Маніт використовують у медицині у якості діуретика. Кормові добавки з бурих водоростей, після виробництва біоетанолу, містять велику кількість білків та ліпідів. Їх можна використовувати як кормову добавку для тваринництва або у якості БАДів для спортсменів через низький вміст вуглеводів.

Однак найбільш доцільною буде переробка бурих водоростей у біоетанол.

При використанні бурих водоростей у якості сировини та використовуючи спеціальні технології ферментативного та хімічного гідролізів, представлених у даному проекті, не виникатиме необхідність в утилізації лігніну. Це в значній мірі покращить екологічність виробництва та знизить витрати на утилізацію відходів. Також, дана технологія дозволяє виробляти біоетанол з будь яких водоростей, що робить дану технологію економічно доцільною.

Використання водоростей у якості сировини для виробництва біоетанолу, знизить вартість сировини з 70 – 80% від собівартості етанолу, до 30%. [35]

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Економічна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Данилюк М.Є.					84	115
Консул.		Ткаченко Т.П.						
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.								
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		

5.1.1 Визначення потужності виробництва

Обсяг споживання біоетанолу, оптимальний для України, становить 250-300 тис. т/рік [1]. Використовувати біоетанол пропонується, як добавки до моторного палива у кількостях від 5 до 20%, що сприяє покращенню якостей екологічності палива. [36] Отже, є доцільним виробляти біоетанол у невеликих кількостях. Це дасть змогу невикликати проблем у реалізації цього проекту, оскільки невикористаний біоетанол за рахунок його гігроскопічності буде погіршувати свої властивості при тривалому зберіганні. Краще орієнтуватися на повне забезпечення окремого регіону і, якщо це буде потрібно, буде можливість транспортувати ту кількість продукту, яку споживає ринок на даний момент часу. При реалізації даного виробництва і можливого економічного ефекту на інші галузі в перспективі є можливість розширення виробництва зі збільшенням його потужності.

Згідно з наявності ресурсів на сьогоднішній день і можливості реалізації продукту, пропонується проект виробництва біоетанолу в обсязі 1 тис. т на рік. Така виробнича потужність дає можливість забезпечити потреби окремо взятого регіону країни і не виникне труднощів в реалізації продукту. Оскільки в Україні немає широкомасштабного виробництва біоетанолу, то на даний продукт буде високий попит. Також дану виробничу потужність можна забезпечити сировиною вже на сьогоднішній день і, якщо буде змога розташувати його поблизу моря, витрати на сировину можна буде в значній мірі скоротити.

При роботі підприємства в безперервному режимі, враховуючи 30 днів на ремонти, зупинки, очищення обладнання і т.д., проектна продуктивність праці підприємства:

$$\text{ПП} = \text{M/T} = 1\,000 \text{ т}/335 \text{ діб} = 2,98 \text{ т/добу, де:}$$

ПП – проектна продуктивність праці підприємства,

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

М – загальна запланована потужність підприємства на рік,

Т – тривалість календарного року.

Для ферментерів об'ємом 10 м³, що використовуються на виробництві, при актуальному режимі роботи, денна продуктивність складає 6,2 м³ культуральної рідини на добу. Вміст етанолу в ній складає 1,5 %, тож денна продуктивність виробництва по етиловому спирту складає 1,86 м³/добу. Густина біоетанолу складає 800 кг/м³ і при перерахунку на масову продуктивність отримаємо значення 1,5 т на добу.

Отже планова кількість одиниць обладнання складатиме:

$$n = \text{ПП}/\text{От} = \text{ПП}/\text{ДП} = 2,98 / 1,5 \approx 2,$$

Де:

n – кількість одиниць обладнання, од;

ПП – проектна продуктивність праці підприємства, т/рік;

О – виробнича потужність виробничого обладнання, т/год;

t – запланована тривалість робочого дня підприємства, год (24 год);

ДП – денна продуктивність однієї одиниці обладнання, т/добу.

Для забезпечення запланованої продуктивності необхідно встановити дві паралельно працюючі установки для бродіння, що складаються з двох ферментерів об'ємом 10 м³ кожний.

5.1.2 Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства

Підприємство працюватиме безперервно, протягом всього календарного року і ефективний фонд робочого часу (Т_{еф}) становить 8760 год/рік. Однак, безпосередньо на випуск продукції виділено 335 днів на рік. 30 календарних днів виділені на забезпечення протягом року належних умов виробництва, тобто виконується очистка і технічний огляд обладнання, оновлення культури дріжджів, плановий та позаплановий ремонт обладнання.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Таблиця 5.1.2.1 Річний фонд робочого часу підприємства

Показник	Норма робочого часу
1. Календарний фонд робочого часу підприємства, днів	365
2. Тривалість робочого дня підприємства, год	24
3. Календарний фонд робочого часу підприємства, год	8760
4. Час простою у планово-попереджувальних ремонтах протягом року, год	720
5. Річний фонд робочого часу підприємства, год	8040

5.1.3 Розрахунок та побудова графіка планово-попереджувальних ремонтів

Графік планово-попереджувальних ремонтів (ППР) містить капітальні, середні та поточні ремонти і передбачає технологічний огляд та інші види міжремонтного обслуговування технологічного обладнання, кваліфікація, валідація, ревалідація та ін.

Виходячи з паспортних даних обраного типу обладнання та актуальних міжремонтних нормативів, розраховуємо час роботи обладнання між ремонтами, час простою, кількість ремонтів та складаємо графік ППР, що представлений у таблиці

В умовах безперервного виробництва номінальний річний фонд робочого часу роботи обладнання становить 8760 год/рік (або 8640 год/рік з урахуванням можливого простою обладнання з непередбачених причин, який у системі ППР складає 120 год/рік.

1. В умовах безперервного виробництва кількість капітальних ремонтів розраховується:

$$n_k = 8640 / a_k,$$

де a_k – час між капітальними ремонтами.

2. Кількість середніх ремонтів розраховується за формулою:

$$n_c = (8640 / a_c) - n_k$$

де a_c – час між двома середніми ремонтами.

3. Кількість поточних ремонтів розраховується за формулою:

$$n_{\pi} = (8640 / a_{\pi}) - n_k - n_c,$$

де a_{π} – час між двома поточними ремонтами.

4. Загальний час простою у ремонтах визначають за формулою:

$$T_{\text{рем}} = n_k \cdot t_k + n_c \cdot t_c + n_{\pi} \cdot t_{\pi},$$

де n_k , n_c , n_{π} – кількість відповідних ремонтів, од.; t_k , t_c , t_{π} – запланований час простою обладнання в ремонті, год/од.

5. Ефективний час роботи очисних споруд без простою обладнання визначається за формулою:

$$T_{\text{еф}} = T_{\text{пр}} - 120 - T_{\text{рем}}$$

Результати розрахунків для всього запланованого обладнання представлені в таблиці 5.1.3.1.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Таблиця 5.1.3.1 Графік планово-попереджувальних ремонтів
технологічного обладнання на рік

Обладнання	Вид ремонту, тривалість простою, год			Кількість ремонтів протягом місяця												Тривалість простою в ремонтах, год/рік	Ефективний фонд робочого часу обладнання, год/рік
	К	С	П	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Дозатори	12/ 50	3/ 20	1/5	П	С	П	П	С	П	П	С	П	П	К	П	150	8490
Насоси	12/ 80	3/ 40	1/ 10	П	С	П	П	С	П	П	С	П	П	К	П	200	8440
Реактори	12/ 400	4/ 100	1/ 10	П	П	С	П	П	П	С	П	П	П	К	П	400	8240
Гідроліз апарат	12/ 400	4/ 100	1/ 10	П	П	С	П	П	П	С	П	П	П	К	П	600	8040
Випарні апарати	12/ 250	4/ 60	1/ 10	С	П	П	С	П	П	П	С	П	П	К	П	400	8240
Відстійник	12/ 100	4/ 50	1/5	П	П	П	С	П	П	П	С	П	П	К	П	200	8440
Бродильна установка	12/ 400	4/ 100	1/ 10	П	П	С	П	П	П	С	П	П	П	К	П	600	8040
Брагоректифікаційна установка	12/ 400	6/ 100	1/ 10	П	П	С	П	П	П	С	П	П	П	К	П	600	8040

5.1.4 Аналіз техніко-економічних показників

Таблиця 5.1.4.1 Техніко-економічні показники підприємства

Показник	Значення показників підприємства	
	базового	Проектного
1. Річний випуск продукції, од/рік	В _б	1 000 т
2. Чисельність персоналу за списком, осіб. У тому числі: виробничий персонал; адміністративний персонал;	Ч _{спб} Ч _{спрб} Ч _{спаб}	50 30 20

3. Середньорічний виробіток робітника, од/особу	$V_6/\text{Чспр}_6$	20
4. Капіталовкладення у проект, грн.: всього, грн. на одиницю продукції, грн./од.	К	9 492 000 9 492
5. Загальна собівартість продукту: всього, грн. на одиницю продукції, грн./од.	Сз С	25 676 380 25 676,4
6. Ринкова вартість продукту, грн./од.	Ц	21 000
7. Відносний прибуток на одиницю продукції, грн./од.	$\Pi = \text{Ц} - \text{С}$	6 343,7
8. Рентабельність продукту, %	$P = \Pi/\text{С}$	0,43
9. Термін повернення капіталовкладень, років	$T_{\text{пов}} = \text{К}/\Pi$	1,5
10. Вартість виробничих фондів, грн. У тому числі: основних; оборотних	ОФ Обз	10 892 000 14 784 380
11. Фондовіддача виробничих фондів, грн./грн.	$\Phi\text{В} = \text{В} \cdot \text{Ц}/\text{ОФ}$	38,6
12. Фондомісткість, грн./грн.	$\Phi\text{Є} = 1/\Phi\text{В}$	0,25
13. Коефіцієнт економічної ефективності	$E = 1/T_{\text{пов}}$	0,66

5.2 Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту

5.2.1 Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства

До капітальних витрат на будівництво нового підприємства входять:

- будівництво виробничого цеху;
- будівництво адміністративної будівлі;
- придбання обладнання, його монтаж та будівництво комунікацій;
- придбання транспорту.

Таблиця 5.2.1.1 Витрати на будівництво і амортизація

Назва	Кількість одиниць для обладнання	Вартість, грн	Термін експлуатації, років	Ліквідаційна вартість, грн	Амортизація грн.
Виробничий цех		750000	20	200000	27500
Адміністративна будівля		200000	20	50000	7500
Транспорт		150000	10	25000	12500
Обладнання					
Дозатор	15	150000	10	20000	13000
Насос	15	300000	10	50000	25000
Конвеєр для подачі сировини	1	250000	20	50000	10000
Подрібнювач сировини	1	200000	10	40000	16000
Вимірювальні прилади (термомтри, ротаметри і т.д.)	42	42000	5	5000	7400
Реактор об'ємом 6,3 м ³	10	2000000	20	400000	80000
Реактор об'ємом 5 м ³	2	1300000	20	600000	35000
Реактор об'ємом 5 м ³	1	400000	20	100000	15000
Реактор об'ємом 1 м ³	1	250000	20	50000	10000
Бродильна установка(2 реактори об'ємом 10 м ³)	2	10000000	20	2000000	400000
Випарна установка	2	1000000	20	200000	40000
Брагоректифікаційна установка з допоміжним обладнанням	1	10000000	20	1500000	425000
Допоміжне обладнання (теплообмінники, фільтри і т.д.)		2500000	10	500000	200000
Всього		9492000	Всього		1276400

Офісне обладнання та інвентар цеху оцінюється в 200000 грн. Амортизація з терміном експлуатації 5 років і ліквідаційною вартістю 10000 грн складає 38000 грн. Вартість нематеріальних активів складає 100000 грн з амортизацією 10000 грн.

Загальна вартість основних фондів:

ОФ = 750000 + 200000 + 150000 + 9492000 + 200000 + 100000 = 10892000 грн.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Амортизація основних фондів складає:

$$A = 27500 + 7500 + 12500 + 1276400 + 38000 + 10000 = 1371900 \text{ грн.}$$

5.2.2 Розрахунок витрат на сировину, матеріали і електроенергію

Використовуючи впроваджену на підприємстві технологію на виробництво 10 л біоетанолу витрачається:

- 55-65 кг подрібненої сировини;
- 1 кг комплексу ферментів;
- 3 л перекису водню;
- 3,6 м³ води;

1,18 кВт·год електроенергії

Враховуючи річну продуктивність 1000 т на рік, що еквівалентно 1 265 800 л біоетанолу на рік, річні витрати на сировину, матеріали і електроенергію наведені в таблиці 5.2.2.1.

Таблиця 5.2.2.1 Витрати на сировину та матеріали

Сировина та матеріали	Витрати на рік	Ціна за од	Сумма, грн.
Сухі бурі водорості	6 962 т	110 грн/т	765 820
Ферментний комплекс	100 т	15 грн/кг	1 500 000
Перекис водню	300 т	1,6 грн/кг	480 000
Технологічна вода	360 000 м ³	4,6 грн/м ³	1 656 000
Електроенергія	118 000 кВт·год	1,52 грн/кВт·год	179 360
Всього			4 581 180

Також додаються витрати на придбання штаму промислових дріжджів на мінеральні солі, які є потрібними компонентами поживного середовища та ферментного препарату. В сумі ці витрати складають 2 млн грн/рік.

Загальні витрати на матеріали, сировину і електроенергію складають 6 581 180 грн/рік.

5.2.3 Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат

Підприємство працює 24 год на добу і 7 днів на тиждень впродовж всього року. 30 днів на рік передбачено планових зупинок, зупинок на ремонт та ін. Для офісних працівників, водіїв, вантажників режим роботи: 5 днів на тиждень, робочий день 8 год, вихідні дні – субота, неділя.

Виробничий персонал складається з 4 бригад, що працюють у 3 зміни по 8 год кожна. На підприємстві максимально використані засоби автоматизації виробництва і 1 бригада складається з 10 осіб. Отже, явочна кількість виробничого персоналу на кожній зміні складає 10 осіб.

Явочна кількість персоналу, що працює в 1 зміну(керівників, офісних працівників, водіїв, вантажників, прибиральників і т.д.) складає 20.

Чисельність персоналу за списком складає 50 осіб.

Таблиця 5.2.3.1 Графік змінності підприємства

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Бр.1	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В
Бр.2	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1

Бр.3	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2
Бр.4	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3
Офісні прац.	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В	1	1

Розрахуємо заробітну плату:

Таблиця 5.2.3.2 Розрахунок заробітної платні

Посада	Кількість	Місячна з/п на 1 працівника, грн	Всього, грн
Виробничий персонал	27	8 000	216 000
Начальник зміни	3	10 000	30 000
Офісні працівники, водії, вантажники і т.д.	17	7 000	119 000
Керівники	3	12 000	34 000
Всього			399 000

Заробітна плата всім працівникам за рік складе 4 788 000 грн.
Нарахування на заробітну плату складають 1 915 200 грн.

Експлуатаційні витрати становлять 1 500 000 грн на рік і складаються з:

- витрати на заробітну плату персоналу, що проводить ремонт будівель чи обладнання;
- витрати на допоміжні матеріали, електроенергію, воду, що необхідні для ремонту;

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

- закупівлю нового інвентаря чи інструментів, що швидко зношуються;

- витрати на ремонт транспортних засобів;

- витрати на утримання цехової і адміністративної будівлі;

- витрати на утримання території.

Загальна вартість оборотних фондів:

Обз = 6 581 180 + 4 788 000 + 1 915 200 + 1 500 000 = 14 784 380 грн/рік.

5.2.4. Розрахунок собівартості продукції

Таблиця 5.2.4.1 Розрахунок собівартості продукції

Стаття калькуляції	Витрати на річну програму грн./рік	Витрати на 1 т продукції грн./1т
1. Сировина, матеріали, електроенергія та ремонт	6 581 180	6 581,18
2. Амортизація	1 371 900	1 371,9
3. Заробітна плата	4 788 000	4 788
4. Нарахування на з/п	1 915 200	1 915,2
5. Собівартість	14 656 280	14 656,3

5.3 Очікуваний ефект від впровадження проектних пропозицій

При впровадженні даної проектної пропозиції очікується:

- задовольнити потребу споживачів у біопаливі в даному регіоні, зі збільшенням сфери збуту з часом при задовільному попиті на біоетанол. При цьому зросте економічна ефективність підприємства і зростуть доходи.

- зменшення енергозалежності країни за рахунок збільшення інтересу до біопалив і розвитку даної галузі в Україні, з подальшим забезпеченням України власними енергоресурсами;

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

- зменшення утворення токсичних відходів, що матиме позитивний екологічний ефект;

- в подальшому налагодити виробництво побічних продуктів, якими можуть бути фурфурол, вуглекислота і дріжджі, що збільшить рентабельність підприємства.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Як видно з технологічної частини проекту, на об'єкті по отриманню біоетанолу з целюлозовмісних відходів кукурудзи знаходяться в обігу небезпечні речовини і матеріали. На виробництві використовуються електрична, теплова, механічна енергія, енергія стисненого повітря. Внутрішньоцеховий транспорт представлено шнековим конвеєром.

Проект виконано з урахуванням вимог охорони праці, пожежної та екологічної безпеки виробництва. На основі виявленого аналізу шкідливих і небезпечних факторів (ШНВФ) проектом передбачено заходи і засоби щодо забезпечення здорових безпечних умов праці та пожежної безпеки [37].

Усе обладнання має проходити своєчасну кваліфікацію, рекваліфікацію та калібрування відповідно до затвердженого графіка. Усі процеси мають проходити валідацію.

6.1 Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних факторів

6.1.1 Повітря робочої зони

Роботи, що виконуються на дільниці, згідно з ДСН 3.3.6.042-99, можна віднести до фізичних робіт середньої важкості категорії Па. В таблиці 6.1.1.1 наведені санітарні норми параметрів мікроклімату для названих приміщень [38].

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.						
Консул.		Гусев А.М.					97	115
Керівн.		Левтун І.І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Затверд.								

Таблиця 6.1.1.1 Оптимальний мікроклімат у приміщеннях [38]

Параметр	Категорія робіт	У побутових приміщеннях	У виробничих приміщеннях
Температура (холодний/теплий періоди), °C	Па	19 - 21/21 - 23	16-25
Вологість, %		60-40	30-60
Швидкість руху повітря, м/с холодний/теплий періоди		0,2 / 0,3	0,2-0,5

Допустима температура зовнішніх поверхонь обладнання становить:

$$t_n = t_0 + 2 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

де t_0 – оптимальна температура повітря робочої зони в теплий період року, $t_0 = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тоді

$$t_n = 24 + 2 = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температуру повітря вимірюють термометрами з ціною поділки 0,2 °C.

Заходами санітарних норм мікроклімату і належної чистоти повітря згідно вимог ДСН 3.3.6.042-99 забезпечено вдосконалення технологічних процесів та їх апаратурного оформлення шляхом розміщення деяких апаратів поза приміщеннями, використання теплозахисної ізоляції апаратів та трубопроводів, які є джерелом виділення теплової енергії. В зимню пору року передбачена система центрального водяного опалення низького тиску виробничих приміщень.

Вибір схеми виробництва проводився з урахуванням зниження тепловиділення і зведення до мінімуму надходження шкідливих речовин у повітря робочі зони.

Для запобігання забруднення повітря виробничих приміщень проектом передбачено забезпечення герметичності ємностей, обладнання, комунікацій та

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засобів відбирання проб. Як засіб видалення вологи із повітря приміщення використовується вентиляція. [39].

За способом організації технологічних заходів для нормалізації повітрообміну передбачена загально обмінна вентиляція. Також на виробництві передбачено аварійна вентиляція, яка вмикається автоматично при досягненні гранично концентрації небезпечних речовин. Для усунення небезпеки, яка виникає при підвищеній температурі поверхонь обладнання проектом передбачено захисну теплоізоляцію, для поверхонь обладнання, такі, як корпус апаратів, захисні сорочки [40].

6.1.2 Виробниче освітлення

Згідно з ДБН В.2.5.28-06, розряд робіт за зоровими умовами відноситься до VIIa (загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу) [41].

Проектом передбачається у приміщенні виробничого цеху використовувати систему штучного комбінованого освітлення. Для освітлення виробничих приміщень передбачено використання люмінесцентних ламп ЛД-80. Передбачено використання вологонепроникних та вибухобезпечних закритих світильників ВЗГ/В4А-200М. Передбачається система аварійного освітлення. Найменша освітленість робочих поверхонь при аварійному режимі повинна складати не менше 2 лк усередині будівель та не менше 1 лк на відкритих ділянках. Для аварійного освітлення проектом передбачаються лампи розжарювання Г 220-200 та люмінесцентні лампи ЛХБ 80.

За ДБН В.2.5-28-06 з урахуванням галузевих норм у таблиці 6.1.2.1 вказані норми освітлення приміщень робочим освітленням.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Таблиця 6.1.2.1 Санітарні норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному і суміщеному освітленні

Характеристика зорової роботи	Розряд роботи	Штучне освітлення, лк		КПО, %	
		комбіноване	загальне	Природне, бічне	Суміщене, верхнє і бічне
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу	VIIIa	-	200	1,8	0,6

6.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерелами шуму та вібрації при виробництві біоетанолу є насоси, вентилятори, газодувки, мішалки, вентиляційні системи.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99, санітарні норми параметрів шуму в приміщеннях і на території підприємства становлять 80 дБА [42]. Гранично допустимі рівні локальної непостійної переривчастої вібрації встановлені у ДСН 3.3.6.039-99 [43]. Для забезпечення допустимого рівня шуму та вібрації проектом передбачено наступні дії:

- витяжні системи обладнати глушниками шуму;
- віброізоляція насосних агрегатів;
- вентилятори закріпити на віброізолюючих пружинах, всмоктуючі та напірні патрубки вентиляторів з'єднати з вентиляторними трубами м'якими вставками;

Для вимірювання і аналізу шуму і вібрації передбачені шумоміри ВШВ - 003 і частотні аналізатори.

6.1.4 Електробезпека

Згідно з проектом, електрообладнання виробничого цеху живиться від трьохфазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму частотою

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

50 Гц, напругою 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю.

Основними причинами ураження електричним струмом у цеху з виробничим обладнанням є випадковий дотик до відкритих струмопровідних частин обладнання, які знаходяться під напругою, або до частин, що проводять електричний струм при порушенні електроізоляції, також ураження кроковою напругою та через електричну дугу, статична електрика.

Відповідно до ПУЕ, приміщення виробничого цеху за небезпекою електротравм належить до категорії з підвищеною небезпекою.

Норми U_d , I_d згідно ГОСТ 12.1.038-82 при аварійному режимі:

$$U_d < 36 \text{ В},$$

$$I_d < 6 \text{ мА при дії довше } 1 \text{ с},$$

де U_d – напруга дотику, В; I_d – струм, який проходить через людину, мА.

При однофазному доторканні струм, який проходить через людину, буде дорівнювати:

$$I_d = \frac{U_\phi \cdot 10^3}{R_d + R_0},$$

де $U_\phi = 220 \text{ В}$ – фазна напруга; $R_d = 2 \text{ кОм}$ – опір людини; $R_0 = 4 \text{ Ом}$ – опір заземлення нейтралі. Тоді

$$I_d = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,7 \text{ мА},$$

$$U_\phi = 2000 \cdot 109,7 = 214 \text{ В}$$

Як видно з порівняння розрахункових та допустимих величин, при порушенні вимог ПУЕ в цеху можливі електротравми з тяжкими наслідками [44].

Статична електрика виникає при терті газоподібних речовин при випусканні повітря чи газів з ресиверів.

Проектом передбачено такі основні засоби захисту від статичної електрики, як відведення зарядів у землю за допомогою заземлення трубопроводів, запобігання виникненню та накопиченню статичної електрики та її нейтралізації.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Все устаткування та комунікації захищено від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124 та НПАОП 0.00-1.29-97. Для зменшення заряду статичної електрики передбачено підвищення вологості повітря до 70%, напилення на діелектричній поверхні електропровідних плівок [45].

Безпека експлуатації електрообладнання досягається системою організаційних і технічних засобів, які забезпечують безпеку в нормальному режимі роботи електроустановок та в аварійному їх стані. Серед них колективними засобами захисту є:

- занулення;
- електроізоляція;
- малі напруги (≤ 42 В);
- подвійна ізоляція.

До основних та додаткових засобів індивідуального захисту на підприємстві відносяться:

- ізолювальні кліщі;
- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття [46].

6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Проектом передбачена комплексна механізація, автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами задля забезпечення безпеки технологічних процесів та обслуговування апаратів, передбачено усунення безпосереднього контакту працюючих з шкідливими речовинами та герметизація обладнання.

Причинами виникнення аварії в цеху можуть бути потрапляння сторонніх продуктів в апарати, зміна складу компонентів, які подаються в вигляді суміші або розчину, зміна витрат холодоагента чи теплоагента, які подаються відповідно для охолодження чи нагріву. Для попередження виникнення

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

аварійних ситуацій передбачено створення автоматичних систем захисту та проходження кваліфікаційних робіт.

Виробничий процес виробництва біоетанолу здійснюється у відповідності з вимогами чинної нормативно-технічної документації, затвердженої у встановленому порядку.

Тиск в трубопроводах, температурний режим і рівень рідини в ректифікаційних колонах, швидкість подачі рідини підтримується у відповідності з вимогами технологічного регламенту.

Проектом передбачено неможливість виконання робіт на несправному обладнанні, при несправності контрольно-вимірювальних приладів, захисних огорожень, блокувань пристроїв, електроустаткування, пускової апаратури, кнопок і важелів керування автоматичного блокування роботи обладнання.

Вимоги безпеки, що стосуються будови, виготовлення та експлуатації посудин, що працюють під тиском, відповідають представленим вимогам у НПАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (зі змінами та доповненнями). Ректифікаційні колони обладнані люками, доступними для обслуговування апарату. Зварні шви виконуються тільки стиковими. Контроль якості зварних швів виконується за допомогою зовнішнього огляду та гідравлічно. Проектом передбачено встановлення ректифікаційних колон на відкритих майданчиках [47].

Вимоги до роботи з компресорним обладнанням відповідають ГОСТ 12.2.016-81, за яким безпечність такого обладнання забезпечується використанням змащувальних матеріалів при роботі з компресорами та їх охолодженням, що передбачено проектом. Всі трубопроводи прокладені згідно з СНиП 1П-Г.9-62 надземно на рухомих опорах. Трубопроводи, що транспортують біоетанол, обладнані дренажними системами для відведення конденсату.

Будова та безпечна експлуатація трубопроводів пари та гарячої води відповідає вимогам НПАОП 40.3-1.11-98. В результаті виникаючих теплових навантажень у трубопроводах можливі розриви (при охолодженні) або

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

випинання (при нагріванні) і відрив фланців. Тому на трубопроводах передбачено встановлення компенсуючих елементів. Відповідно до ГОСТ 14202-69 передбачено фарбування трубопроводу для подачі гарячої води зеленим кольором, біостанолу – жовтим, розчину перекису водню – синім [48].

6.2 Пожежна безпека

Причинами загорання і вибуху на виробництві можуть бути:

- порушення герметичності бродильних чанів, ректифікаційних колон та комунікацій;
- прямий удар блискавки або занесення її високого потенціалу у приміщення по видовжених елементах;

Для забезпечення пожежної безпеки передбачено виготовити вибухобезпечними згідно з ГОСТ 12.1.030, ГОСТ 12.1.018 та НПАОП 40.1-1.32-01 штучне освітлення, електрокомунікації, електричне обладнання та електричне устаткування. Для пожежогасіння передбачено застосовувати розпилену воду, піну, вогнегасні порошки класів В та АВС; під час об'ємного гасіння – вуглекислий газ, вогнегасні порошки класів В та АВС, а також аерозольні вогнегасні речовини.

Проектом передбачено наступні будівельні заходи пожежної безпеки: ступінь вогнестійкості будівлі – І, два запасних виходи з шириною дверних прорізів 0,6 м, легкоскідні конструкції, а саме одинарне засклення вікон.

Виробничий цех передбачено обладнати автоматичними дренчерними установками загального та локального пожежогасіння та пожежної сигналізації згідно з НАПБ Б.06.004.

Устаткування та комунікації передбачено захистити від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124 та НПАОП 0.00-1.29-97. Для відведення заряду з рідкого продукту на завантажувальному трубопроводі безпосередньо біля входу в апарат, що заповнюється, передбачено обладнати індукційним нейтралізатором зі струнами.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Споруди і будівлі, що віднесені за СН 305-77 до II категорії по влаштуванню блискавкозахисту, проектом передбачено захистити від блискавки шляхом встановлення подвійного стрижневого громовідводу [49].

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
						105
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

В процесі виробництва біоетанолу утворюється ряд побічних продуктів, що можуть спричинити шкоду навколишньому середовищу. До них відносяться вуглекислий газ, сивушні масла, метанол, фурфурол та ін.

Вуглекислий газ при потраплянні в атмосферу негативно впливає на навколишнє середовище сприяючи збільшенню парникового ефекту. Для запобігання його виходу в атмосферу вуглекислий газ, що утворюється в процесі виробництва біоетанолу пропонується вловлювати в циклонах і переробляти на вуглекислоту, яка буде побічним продуктом виробництва.

В процесі випарювання гідролізату утворюється фурфурол, що є токсичною сполукою. Для запобігання його виходу в атмосферу, фурфурол конденсують і очищають. Фурфурол використовується в хімічній промисловості, тому він матиме економічну користь як побічний продукт.

В процесі ректифікації утворюється багато побічних продуктів. З бражної колони після ректифікації виходить барда, що не містить спирту. При її скиді у водойму або каналізацію, вона може спричинити мікробіологічне забруднення, оскільки вона містить пентозами, що можуть бути поживними речовинами для мікроорганізмів. Тому барду потрібно або очищати на промислових очисних спорудах або використовувати для отримання кормових дріжджів.

В процесі роботи ректифікаційних колон утворюється лютерна вода, що може бути очищена на очисних спорудах і повторно використовуватись в якості води технічного призначення. Також утворюються сивушні масла і метанол. При відсутності методів їх виділення, їх скидають разом з стічними водами в водойму або каналізацію. Метанол, як і сивушна фракція, є отруйною сполукою, при високій його концентрації в стоках він негативно впливатиме на роботу споруд біологічного очищення. Тому потрібно попереднє розбавлення

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона довкілля	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.					106	115
Консул.								
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		

стічної води і подальша її очистка.

Організаційні заходи зводяться до попередження скидання стічних вод у водойми без їхнього очищення. Технічні заходи передбачають очищення стічних вод різними методами, повторне використання стічних вод для технічних потреб та поливу, створення оборотних та замкнених систем водокористування, вдосконалення технологічних процесів на підприємствах у напрямку зменшення надходження забруднень у стоки, перехід на безвідходні технології та ін.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено аналіз літературних джерел щодо методів та умов культивування бурих водоростей виду *Laminaria japonica*, впливу різних факторів на продуктивність культивування та хімічний склад біомаси. Аналіз впливу різних чинників на культивування спиртоутворюючих дріжджів роду *Saccharomyces*. Досліджено схему перебігу біологічних процесів, які протікають при синтезі біоетанолу. Головним шляхом синтезу є спиртове бродіння, яке здійснюється дріжджами родів *Shizosaccharomyces* і *Saccharomyces*, і проходить в декілька стадій. В процесі асиміляції простих вуглеводів цим шляхом головним продуктом метаболізму дріжджів є етанол. Окрім етанолу утворюються метанол, вуглекислий газ і сивушні масла. На відміну від інших технологій, лігнін в ході отримання біоетанолу цією технологією – не виділяється. При зброджуванні гідролізату дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* вихід біоетанолу становить 130 – 160 л на 1 т абсолютно сухої сировини.

Розроблена та обґрунтована технологія виробництва біоетанолу з бурих водоростей роду *Laminaria Japonica*, яка базується на типовій гідролізній технології. Запропоновано новітнє рішення щодо гідролізу сировини – послідовний хімічний та ферментативний гідроліз.

Сировиною для виробництва біоетанолу обрано сухі бурі водорості. Можливе використання будь яких бурих водоростей в рамках запропонованої технології. Використання даної сировини для отримання біоетанолу є перспективним, оскільки має кращі показники екологічності та дешевше в перерахунку на собівартість.

Розроблено технологічну схему, що включає обробку подрібненої сировини пергідролем (хімічний гідроліз). Наступним етапом є проведення

					ЕКБ.БЕ8103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація процесу зброджування	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Данилюк М.Є.					108	115
Консул.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81мп		
Керівн.		Левтун І.І.						
Затверд.								

ферментативного гідролізу при додаванні ферментів - целюлази, геміцеллюлази, пектинази і сульфатази, використанням культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та виділенням біоетанолу на брагоректифікаційній установці.

Також розроблена апаратурна схема виробництва біоетанолу з бурих водоростей та розроблені засоби з автоматизації виробництва. Виконано креслення технологічної і апаратурної схеми виробництва, автоматизації стадії зброджування та креслення ферментеру на аркушах формату А1.

Проведено розрахунок і підбір основного та допоміжного обладнання, складено матеріальний баланс виробництва. Розраховано основні технологічні та конструктивні параметри ферментеру для зброджування моноцукрів. На основі розрахунків обрано реактор без механічних перемішуючих пристроїв з секційною сорочкою та внутрішнім теплообмінником, $V = 10 \text{ м}^3$, коефіцієнт заповнення 0,7.

Виконано розрахунок економічної ефективності виробництва та розраховано собівартість продукції, яка складає 14 656,3 грн/т біоетанолу. Також представлені заходи з охорони праці та надано інформацію щодо запобігання шкоди навколишньому середовищу при виробництві біоетанолу.

При використанні даної технології отриманий етанол відповідає всім характеристикам вказаним в Євростандарті EN 15376 і дозволений до використання як компонент бензиново-етанольної суміші.

					ЕКБ.БЕ8103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дейнеко, Л.В. Проблеми виробництва та використання біопалива в Україні / Л.В. Дейнеко, О.Г. Загный // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. — 2006. — 85, № 1. — С. 49 – 54.
2. ДСТУ 7502:2014 «Паливо синтетичне. Терміни та визначення понять»
3. ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови»
4. Шевченко О. Б. Застосування етанолу як компонента моторного палива // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 6. – С. 132 – 137.
5. Зинова Е.С. Водоросли Японского моря (бурые) // Изв. ТОНС. 1929. - Т. 3, вып. 4. - С. 79.
6. В.Н. Корзун, В.І. Сагло, А.М. Парац Харчові продукти з водоростями як засіб мінімізації дії радіації та ендемії // Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва, 2004. – С. 1-3.
7. М.Б. Шилин, О.Л. Саранчова, Полярная аквакультура. // СПб, изд. РГГМУ, 2005. – С. 43-59.
8. Prentice I.C. The carbon cycle and atmosphere carbondioxide. / I.C. Prentice, G.D. Farquhar // In Climate Change 2001. – P. 183-237.
9. Ehleringer J. Variation in quantum yield for CO₂ uptake among C3 and C4 plants. / J. Ehleringer, R.W. Pearcy // Plant Physiol 1983, vol. 73. – P. 555-559.

					ЕКБ.БЕ7103.МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Данилюк М.Є.			Список використаних джерел		Літ.	Арк.
Консул.								110
								115
Керівн.		Левтун І.І.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71мп	
Затверд.								

10. Sushchik N.N. A temperature dependence of the intra- and extracellular fatty-acid composition of green algae and cyanobacterium. / N.N. Sushchik, G.S. Kalacheva, N.O. Zhila, M.I. Gladyshev, T.G. Volova // J. Plant Physiol. 2003, vol. 50. – P. 374-380.
11. Gurr M.I. Lipid Biochemistry: An Introduction, 5th ed. / M.I. Gurr, J.L. Harwood, K.N. Frayn // Blackwell:Oxford, UK, 2002. – P. 320.
12. Solovchenko A. Effects of light and nitrogen starvation on the content and composition of carotenoids of the green microalga *Parietochloris incisa*. / A. Solovchenko, I. Khozin-Goldberg, S. Didi-Cohen, Z. Cohen, M. Merzlyak // J. Plant Physiol. 2008, vol. 55. – P. 455–462.
13. Prentice I.C. The carbon cycle and atmosphere carbondioxide. / I.C. Prentice, G.D. Farquhar // In Climate Change 2001. – P. 183-237.
14. Lynn S.G. Effect of nutrient availability on the biochemical and elemental stoichiometry in the freshwater diatom / S.G. Lynn, S.S. Kilham, D.A. Kreeger, S.J. Interlandi *Stephanodiscus minutulus (bacillariophyceae)* // J. Phycol. 2000, 36. – P. 510–522.
15. Khozin-Goldberg I. The effect of phosphate starvation on the lipid and fatty acid composition of the fresh water eustigmatophyte *Monodus subterraneus*. / I. Khozin-Goldberg, Z. Cohen // Phytochemistry 2006, vol. 67. – P. 696–701.
16. Семененко В.Е. Эндогенная регуляция фотосинтеза и сопряженных процессов. Сообщение II. Перестройка в комплексе индивидуальных белков и направленный синтез белка "фракции I" при действии экстремальной температуры на клетку хлореллы. / В.Е. Семененко Т.И. Касаткина М.Г. Зверева. // Материалы VII всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе. Наукова Думка, Киев. 1972 – С. 120-125.

					ЕКБ.БЕ7103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

17. Барашков Г.К. Сравнительная биохимия водорослей / Г.К. Барашков -М.: Пищ. пром-сть, 1972. – 336 с.
18. Makewicz A. Lipids of *Ectocarpus fasciculatus* (phaeophyceae). Incorporation of [1-14C]oleate and the role of TAG and MGDG in lipid metabolism. / A. Makewicz, C. Gribi, W. // Eichenberger, Plant Cell Physiol. 2011, vol. 38. – P. 952–962
19. Khozin-Goldberg I. The effect of phosphate starvation on the lipid and fatty acid composition of the fresh water eustigmatophyte *Monodus subterraneus*. / I. Khozin-Goldberg, Z. Cohen // Phytochemistry 2006, vol. 67. – P. 696–701.
20. Sato N. Environmental effects on acidic lipids of thylakoid membranes. / N. Sato, M. Hagio, H. Wada, A.M. Tsuzuki // Biochem. Soc. Trans. 2007, vol. 28. – P. 912–914.
21. Einicker-Lamas M. *Euglena gracilis* as a model for the study of Cu²⁺ and Zn²⁺ toxicity and accumulation in eukaryotic cells. / M. Einicker-Lamas, G.A. Mezian, T.B. Fernandes // Environ. Pollut. 2002, vol. 120. – P. 779–786.
22. Семененко В.Е. Эндогенная регуляция фотосинтеза и сопряженных процессов. Сообщение II. Перестройка в комплексе индивидуальных белков и направленный синтез белка "фракции I" при действии экстремальной температуры на клетку хлореллы. / В.Е. Семененко Т.И. Касаткина М.Г. Зверева. // Материалы VII всесоюзного рабочего совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе. Наукова Думка, Киев. 1972 – С. 148-159.
23. Чернавской Н. М. Физиология растительных организмов и роль металлов / Под ред. Н. М. Чернавской. - М. : Изд-во МГУ, 2002. – С. 157.
24. Вальенте М., Оскар Р. Разработка способов выделения и использования ламинарана / Всесоюзный научно-

					ЕКБ.БЕ7103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), 1985 – С. 33.

25. Тиунова Н.А., Родинова Н.А. Ферментативное расщепление целлюлозы. Успехи биологической химии / т. IЗ, 1992, – С. 179-200.
26. Зайкина И.В., Тиунова Н.А., Кобзева Н.Я., Безбородов А.М. 1,3-β-глюканазы / 7-ая Всесоюзная конференция. В кн.: Химия и биохимия углеводов. Пушино. Тезисы докладов, 1982, – С. 22.
27. Бекер М. Е. Введение в биотехнологию / Издательство «Звайгэне», 2007 – С. 138-140.
28. Zhang K, Pei Z, Wang D. Organic solvent pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuels and biochemicals: a review. Bioresour Technol. 2016;199:21–33.
29. Циганков П. С., Циганков С. П. Виділення спирту із бражки та його очистка. – К.: Глобус, 2000. – 120 с.
30. Славянский А. К., Шарков В. И., Ливеровский А. А., Бувеской А. В., Медников Ф. А. Химическая технология древесины / Гослесбумиздат, Москва, 1964, – С. 535.
31. Климовский Д. Н., Стабников В. Н. Технология спирта / 3-е издание, дополненное и переработанное, Москва, 2012, – С. 112.
32. Wiggers HJ, Cheleski J, Zottis A, Oliva G, Andricopulo AD, Montanari CA. Effects of organic solvents on the enzyme activity of *Trypanosoma cruzi* glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase in calorimetric assays. Anal Biochem. 2007;370:107– P. 14.
33. Yu, Hui-Tse et al. “Efficient pretreatment of lignocellulosic biomass with high recovery of solid lignin and fermentable sugars using Fenton reaction in a mixed solvent” Biotechnology for biofuels vol. 11 - P. 287.

					ЕКБ.БЕ7103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

34. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 496 с.
35. Маринченко В.О. Технологія спирту / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер. – Вінниця: «Поділля-2000», 2003. – 496с. ISBN 5-86248-114-1.
36. Гельфанд Е. Д. Основы технологии биоэтанола: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. Ун-та, 2005. – 56 с.
37. Халаим А. Ф. Технология спирта. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 192 с.
38. Орленко А.Т. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах для студентів ф-ту біотехнології та біотехніки / А.Т. Орленко, Н.А. Праховнік, Ю.О. Полукаров. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 33с.
39. ДСН 3.3.6042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
40. 34. Вредные вещества в промышленности. Справочник химиков, инженеров и врачей. В 3т.-Л.: Химия, 1976 г. – Т.1. – 592с.
41. 35. СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
42. 36. ДБН В.2.5.28-06. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Київ, 2006. – 76с.
43. 37. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
44. 38. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації
45. 39. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

					ЕКБ.БЕ7103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

46. 40. ГОСТ 12.4.124. Система стандартов безопасности труда.
Средства защиты от статического электричества.
Общитехническое требование.
47. 41. Сабарно Р.В., Степанов А.Г. Электробезопасность на
промышленных предприятиях. – М.: Медицина, 1988. – 336с.
48. 42. Калунянц К.А. Оборудование микробиологических
производств / К.А. Калунянц, Л.И.Голгер, В.Е. Балашов– М.:
Агропромиздат, 1987. – 397с.
49. 43. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий.
Опознавательная окраска, опознавательные знаки и
маркировочные щитки.
50. 44. Рябов И.В. Пожарная опасность веществ и материалов,
применяемых в химической промышленности: Справочник. –
М.: Химия. – 1970. – 336с.

					ЕКБ.БЕ7103.МД	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115